विज्ञानमाला क्र. ४१

अंकीय संगणकाचा परिचय

अथवा

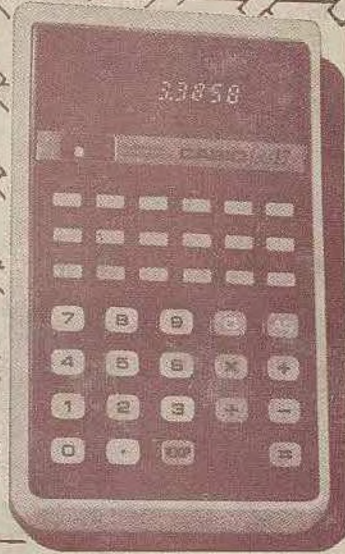
विजेने गणित कसे सुटते याचे सुबोध विवेचन

अष्टेक सूत्र
(8-4-2-1 Code)

0				
1				●
2			●	
3			●	●
4		●		
5		●		●
6		●	●	
7	[illegible]	[illegible]	[illegible]	●
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
12	●	●		
13	●	●		●
14	●	●	●	
15	●	●	●	●

विद्युत सूत्र (Excess - Three Code)

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9





: लेखक :

श्री. स. ग. काजरेकर

...Glancing through your book I find that you have done a thorough Job of it, and I hope the book will be successful in popularizing the computer cult....I very much look forward to reading your book when it is in a complete form

– Dr. Jayant V. Naralikar
Tata Institute of Fundamental Research, Bombay–5.

The idea of introducing computer technology to the Marathi reader is quite laudable. Shri Kajarekar deserves to be congratulated for undertaking and completing successfully this important task. All those interested in familiarising themselves of the operation and use of computers will welcome this publication whole-heartedly.

.... Writing such a book for readers with a background of no more than high school level is not an easy tosk. Special efforts will be necessgry to handle the difficult problem of explainiug the intricacies of the devices and circuits in a simple and lucid language. I am pleasantly surprised to see that the author has succeeded in providing good explanation without employing complex terminology. Wherever required, he has also attempted (with good effect) the use of

— Contd. on cover page 3



इंटरनॅशनल बिझिनेस मशीन्स कंपनीच्या ' आय्. बी. एम्. १४०१ '
या संगणकातील प्रमुख कार्यकारी घटक

१ कार्डरीडर, २ सेंट्रल प्रोसेसर युनिट, ३ प्रिंटर, ४ सहा मॅग्नेटिक् टेप्सचे टेप् मेमरी युनिट, ५ डिस्क मेमरी युनिट व ६ टेलि-टाइपरायटर.

सेंट्रल प्रोसेसर युनिटच्या अंतर्भागात ' मेन् मेमरी ' – ' मुख्य स्मृति-संग्रह '– अर्थात् सोडवायच्या गणितासंबंधीच्या माहितीचे त्वरित-उपयोगाचे भांडार, गणित सोडविणाऱ्या वीज सरण्यांचा ' अंकगणित विभाग ' व सर्व कामगिरीवर नियंत्रण ठेवणारा ' नियंत्रण विभाग ' यांचा समावेश असतो.

संगणकाचे काम चालू असताना तो व संचालक व्यक्ती टेलि-टाइपरायटरद्वारा परस्परांशी संपर्क राखतात.

विज्ञानमाला क्र. ४१

अंकीय संगणकाचा परिचय

अथवा

विजेने गणित कसे सुटते याचे सुबोध विवेचन

: लेखक :

श्री. स. ग. काजरेकर



महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृति मंडळ,

मुंबई

प्रथमावृत्ती : १९७९ शके १९००

प्रकाशक :

सचिव,

महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृति मंडळ,

मंत्रालय, मुंबई ४०० ०३२

किंमत : २२ रुपये

मुद्रक :

य. गो. जोशी

आनंद मुद्रणालय,

१५२३, सदाशिव पेठ,

पुणे ४११ ०३०.

निवेदन

१. आधुनिक शास्त्रे, ज्ञानविज्ञाने, तंत्र आणि अभियांत्रिकी इत्यादी क्षेत्रांत त्याचप्रमाणे भारतीय प्राचीन संस्कृती, इतिहास, कला इत्यादी विषयांत मराठी भाषेला विद्यापीठाच्या स्तरावर ज्ञानदान करण्याचे सामर्थ्य यावे हा मुख्य उद्देश लक्षात घेऊन साहित्य-संस्कृती मंडळाने वाङ्मय निर्मितीचा विविध कार्यक्रम हाती घेतला आहे. मराठी विश्वकोश, मराठी भाषेचा शब्दकोश, वाङ्मयकोश, विज्ञानमाला, भाषांतरमाला, आंतरभारती–विश्वभारती, महाराष्ट्रेतिहास इत्यादी योजना या कार्यक्रमात अंतर्भूत केल्या आहेत.

२. मराठी भाषेला विद्यापीठीय भाषेचे प्रगल्भ स्वरूप व दर्जा येण्याकरिता मराठीत विज्ञान, तत्त्वज्ञान, सामाजिक शास्त्रे आणि तंत्रविज्ञान या विषयांवरील संशोधनात्मक व अद्ययावत माहितीने युक्त अशा ग्रंथांची रचना मोठ्या प्रमाणावर होण्याची आवश्यकता आहे. शिक्षणाच्या प्रसाराने मराठी भाषेचा विकास होईल ही गोष्ट तर निर्विवादच आहे. पण मराठी भाषेचा विकास होण्यास आणखीही एक साधन आहे आणि ते साधन म्हणजे मराठी भाषेत निर्माण होणारे उत्कृष्ट वाङ्मय हे होय. जीवनाच्या भाषेतच ज्ञान व संस्कृती यांचे अधिष्ठान तयार व्हावे लागते. जोपर्यंत माणसे परकीय भाषेच्याच आश्रयाने शिक्षण घेतात, कामे करतात व विचार व्यक्त करतात तोपर्यंत शिक्षण सकस बनत नाही. संशोधनाला परावलंबित्व रहाते व विचाराला अस्सलपणा येत नाही. एवढेच नव्हे तर वेगाने वाढणाऱ्या ज्ञानविज्ञानापासून सर्वसामान्य माणसे वंचित राहतात.

३. वरील विषयांवर केवळ परिभाषाकोश अथवा पाठ्यपुस्तके प्रकाशित करून विद्यापीठीय स्तरावर अशा प्रकारचे स्वरूप व दर्जा मराठी भाषेला प्राप्त होणार नाही. सर्वसामान्य सुशिक्षितांपासून तो प्रज्ञावंत पंडितांपर्यंत मान्य होतील अशा ग्रंथांची रचना व्हावयास पाहिजे. मराठी भाषेत किंवा अन्य भारतीय भाषांमध्ये विज्ञान, सामाजिक शास्त्रे व तंत्रविज्ञान या विषयांचे प्रतिपादन करावयास उपयुक्त अशा परिभाषासूची किंवा परिभाषा कोश तयार होत आहेत. पश्चिमी भाषांना अशा प्रकारच्या कोशांची गरज नसते. याचे कारण उघड आहे. पश्चिमी भाषांत ज्या विद्यांचा संग्रह केलेला असतो त्या विद्यांची परिभाषा सतत वापराने रूढ झालेली असते. त्या शब्दांचे अर्थ त्यांच्या उच्चारांबरोबर वा वाचनाबरोबर वाचकांच्या लक्षात येतात. निदान त्या त्या विषयांतील जिज्ञासूंना तरी ते माहीत असतात. अशी स्थिती मराठी किंवा अन्य भारतीय भाषांची नाही. परिभाषा किंवा शब्द यांचा प्रतिपादनाच्या ओघात समर्पकपणे वारंवार प्रतिष्ठित लेखांत व ग्रंथांत उपयोग केल्याने अर्थ व्यक्त करण्याची त्यात शक्ती येते. अशा तऱ्हेने उपयोगात न आलेले शब्द केवळ कोशात पडून राहिल्याने अर्थशून्य राहतात. म्हणून मराठीला आधुनिक ज्ञानविज्ञानांची भाषा बनविण्याकरिता

शासन, विद्यापीठे, प्रकाशनसंस्था व त्या त्या विषयांचे कुशल लेखक यांनी मराठीत ग्रंथ-रचना करणे आवश्यक आहे.

४. वरील उद्देश ध्यानात ठेवून मंडळाने जो बहुविध वाङ्मयीन कार्यक्रम आखला आहे त्यातील पहिली पायरी म्हणून सामान्य सुशिक्षित वाचकवर्गाकरिता, इंग्रजी न येणाऱ्या कुशल कामगारांकरिता व पदवी/पदविका घेतलेल्या अभियंत्यांकरिता सुबोध भाषेत लिहिलेली विज्ञान व तंत्रविषयक पुस्तके प्रकाशित करून स्वल्प किंमतीत देण्याची व्यवस्था केलेली आहे. मंडळाने आजवर आरोग्यशास्त्र, शरीरविज्ञान, जीवशास्त्र, आयुर्वेद, गणित, ज्योतिषशास्त्र, भौतिकी, रेडिओ, अणुविज्ञान, सांख्यिकी, स्थापत्यशास्त्र, वनस्पतिशास्त्र, पुस्तक–बांधणी, साखर निर्मिती, पाणी पुरवठा, इत्यादी विषयांवर ४८ दर्जेदार पुस्तके विज्ञानमालेत प्रकाशित केली आहेत. प्रकाशचित्रणकला, रंग, कृत्रिम धागे, मोटार-दुरुस्ती, वैमानिक विद्या, अवकाशयान, वास्तुकला इत्यादी अनेक विषयांवरील पुस्तके तयार होत आहेत.

५. आधुनिक विज्ञान युगात सर्व औद्योगिक क्षेत्रांत संगणक (Computer)चे महत्त्व किती आहे हे सिद्ध झाले आहे. आज सर्व जगामध्ये विकसित व अविकसित देशांमध्ये संगणकाचा उपयोग करण्यात येत आहे. श्री. स. ग. काजरेकर, पुणे यांनी मराठी भाषिकांच्या उपयोगासाठी व मार्गदर्शनासाठी "अंकीय संगणकाचा परिचय" हा संगणकाची अंतर्रचना, कार्यपद्धती व त्याची उपयुक्तता याविषयीची महत्त्वपूर्ण माहिती असलेला शास्त्रीय विषयावरील ग्रंथ मंडळाला लिहून दिला त्याबद्दल आम्ही त्यांचे आभारी आहोत.

६. प्रस्तुत "अंकीय संगणकाचा परिचय" हा ग्रंथ मराठी वाचकांना व या विषयातील विद्यार्थ्यांना सादर करण्यास मंडळास आनंद होत आहे.

वाई,
६ माघ, शके १९००
गणराज्यदिन, २६ जानेवारी, १९७९

लक्ष्मणशास्त्री जोशी
अध्यक्ष,
महाराष्ट्र राज्य साहित्य-संस्कृती मंडळ

प्रस्तावना

अलीकडील १०–१५ वर्षांत **गणकयंत्र** हा शब्द अपल्या वाचण्यात किंवा ऐकण्यात अनेकदा आला आहे आणि 'गणित करणारे ते एक यंत्र असावे' अशी आपली कल्पना झाली आहे. 'विमा कंपन्यांच्या कार्यालयांसारख्या मोठमोठ्या कार्यालयांतून गणकयंत्रे बसवावीत का नको ? कारण असे एकेक यंत्र शेकडो कारकून करतात त्या हिशेबांचे काम अत्यंत थोड्या वेळात व बिनचूक करून त्या कारकुनांच्या पोटावर पाय आणील आणि देशातील बेकारीत आणखी भरच पडेल.......' अशा आशयाच्या आर्थिक, सामाजिक विषयांवरील चर्चेच्या संदर्भात आपणाला या साधनाच्या प्रचंड कार्यशक्तीची काही कल्पना आली आहे. त्याच्या क्षमतेविषयी पुढे उल्लेखिलेल्या सत्य गोष्टीही प्राय: अनेकांस परिचित असतील. विज्ञानाच्या अनेक शाखांमध्ये अलीकडे झालेल्या प्रगतीत गणकयंत्राच्या कामगिरीचा फार मोठा वाटा आहे. मानवाचा अवकाशात प्रवेश, प्रवास व त्याचे चंद्रावर पदार्पण या गोष्टी गणकयंत्राच्या अभावी घडूच शकल्या नसत्या ! क्षेपणास्त्रे, विमान-वेधी तोफा यांच्या अचूक मारगिरीकरता गणकयंत्राच उपयोग अनिवार्य ठरला असून त्याचे हे लष्करी महत्त्व सिद्ध झाले आहे. कित्येक उद्योगधंद्यांतून व संशोधनात गुंतलेल्या प्रयोगशाळांतून चालू असलेल्या एखाद्या कामातील प्रत्येक टप्प्यावर, ते काम योग्य तऱ्हेने घडत आहे की नाही याचा त्वरित निर्णय मिळणे व ते योग्य तऱ्हेनेच चालत राहावे असे आपोआपी (automatic) संचालन चालू राहणे, ही गोष्ट गणकयंत्राच्या साहाय्यानेच शक्य होत आहे. किंबहुना, विज्ञान आणि तंत्र यांच्याशी (दूरान्वयानेही) संबंधित असलेल्या प्रत्येक क्षेत्रात गणकयंत्राचा उपयोग शक्य होत आहे आणि फार उपकारक ठरत आहे ! असे या साधनाचे गुण-वर्णन आपल्या कानी नित्य येत आहे. या वर्णनावरून गणकयंत्र हे एक अत्यंत महत्त्वाचे साधन अलीकडील वर्षात सिद्ध झाले आहे ही गोष्ट निर्विवाद ठरते.

पुस्तकाच्या नावात 'संगणक' हा शब्द योजला आहे, पण वरील परिच्छेदात 'गणकयंत्र' हाच शब्द सर्रास वापरला आहे, या विसंगतीचा येथे खुलासा करणे इष्ट आहे. कॉंप्युटर (Computer) या शब्दाकरिता गेल्या १०–१५ वर्षांत मराठीत 'गणकयंत्र' हा शब्द रूढ झाला. (क्वचित 'गणनयंत्र' असाही पाठभेद वापरला गेला) तेव्हा, त्याच्या कार्याचा परिचय करून देताना, वाचकास सुरुवातीसच खटकल्यासारखे होऊ नये म्हणून तो रूढ शब्द येथवरच्या निवेदनात वापरला. पण तो शब्द तितकासा योग्य नाही, कारण — गणिती क्रिया करून गणित सोडवणे या त्याच्या क्षमतेचा निदर्शक असा 'गणक' हा शब्द (किंवा शब्दखंड) योग्यच असला तरी या साधनाला 'यंत्र' म्हणणे तितकेसे बरोबर नाही, कारण त्यामध्ये मागेपुढे हालणारे,

फिरणारे, किंवा खडखडाट करणारे असे यांत्रिकी घटक फारसे नाहीत. हे झाले ' यंत्र ' या प्रत्ययाच्या अनिष्टतेविषयी. ' सं ' या पूर्वप्रत्ययाचे समर्थन असे :– हे साधन, गणन म्हणजे (संख्या) मोजणे येवढेच काम न करता त्या संख्यांवर इतर गणिती प्रक्रिया करणे, त्यांची तुलना करणे, वर्गवारी करणे, त्यातील इष्ट त्या संख्येची निवड करणे अशी संकलनाच्या स्वरूपाची कामगिरीही पार पाडते. याकारणे त्याला ' **संगणक** ' म्हणणे योग्य ठरते. पुस्तकात (यापुढे) ' संगणक ' हाच शब्द योजला आहे.

संगणकाचे मुख्य प्रकार

कामगिरीच्या वेगळेपणावर आधारित असे संगणकाचे मुख्य दोन प्रकार आहेत. एक प्रकार **अंकीय संगणक** (Digital Computer) हा होय. या प्रकारचा संगणक त्याला घातलेली, बहुधा शास्त्रीय विषयांशी संबंधित असलेली, अति क्लिष्ट, गहन गणिते सोडवितो; तसेच, सरकारी संस्था, मोठ्या कंपन्या इत्यादींचे व्यवसाय–व्यवस्थापन संबंधीचे लाखो हिशेब करून देतो. ही गणिते, हिशेब व ते सोडविण्याच्या रीतींचे तपशील यांची व्यवस्थित मांडणी करून विशिष्ट सांकेतिक भाषेत संगणकाला ती पुरवावी लागते. ही मांडणी करणाऱ्या व्यक्तीला (' प्रोग्रॅमर ' ला) या कामास बराच वेळ लागतो, पण संगणकाच्या ताब्यात ती गेल्यावर गणित सुटण्याचे काम चुटकीसरसे होते. या प्रकारचा संगणक अर्थातच विविधोपयोगी (multipurpose) असतो. हा प्रकारच पुस्तकाचा मुख्य वर्ण्यविषय आहे.

दुसऱ्या प्रकाराला Analogue Computer (**समकृती संगणक**) अशी संज्ञा आहे. या साधनाच्या साह्याने अत्यंत क्लिष्ट व प्रगत गणित सोडविले जाते व बहुधा, अशा गणितावर आधारित असे जे प्रयोग, प्रक्रिया किंवा तत्सम घटना चालू असतात, त्या ' चालू असतानाच त्यांचे आपोआप नियमन ' करणे याच्या साह्याने शक्य होते. एका दृष्टीने,या प्रकारचा संगणक त्या त्या कामापुरताच उपयुक्त (Single–purpose) असतो दुसरी गोष्ट, हा संगणक सोडवितो ते गणितच उच्च श्रेणीचे, प्रगत स्वरूपाचे असल्याने सामान्य सुबुद्ध वाचकाला त्याचे ज्ञान अपेक्षित नाही. म्हणून या समकृती संगणकाचे विवेचन प्रस्तुत पुस्तकात केलेले नाही. अंकानुसारी (अर्थात संक्षेपाने अंकीय, Digital) संगणकाची कार्यपद्धती स्पष्ट व्हावी, म्हणून तुलनेपुरते त्याचे वर्णन केले आहे.

संगणकाचे अपार महत्त्व

सुमारे २५ वर्षांपूर्वी ही सिद्धी प्राप्त झाली. एवढया अल्प कालातही या साधनात अनेक सुधारणा झाल्या आहेत. पण, त्याची रचना किंवा कार्यपद्धती यांतील प्रगतीपेक्षां त्याच्या उपयोगाचे (Applications चे) क्षेत्र अमर्याद वाढले आहे व नित्य वाढत आहे. सुरुवातीच्या काही वर्षांत या साधनाला ' यांत्रिक मेंदू ' किंवा ' राक्षसी मेंदू ' म्हटले जाई. नंतरच्या काळात त्याला वीजकीय मेंदू (Electronic Brain) असे

संबोधलेले आढळते. या नावांचा संकलितपणे विचार करता अशी रास्त कल्पना करता येते की—

> माणसाच्या मेंदूचे काम करणारे, आणि तेही एकाच सामान्य माणसाच्या मेंदूंचे नव्हे, तर तल्लख बुद्धीच्या अनेक तज्ज्ञांच्या मेंदूंचे काम विजेच्या साह्याने एकाच वेळी करून, एखाद्या क्लिष्ट, प्रदीर्घ समस्येचे उत्तर अत्यल्प वेळात काढून देणारे हे साधन आहे!

या त्याच्या कर्तबगारीमुळे एक विचित्र, विपरीत परिस्थिती अवघ्या विकसित मानवसमाजात सध्या येऊ घातली आहे. ती ध्यानांत घेतल्यास या साधनाचे महत्त्व अधिक स्पष्टपणे उमगेल. ती परिस्थिती अशी :– वाफेच्या इंजिनाच्या व विजेच्या शोधानंतर, माणसाला आपल्या स्नायूंच्या शक्तीने कराव्या लागणाऱ्या अनेक कामांचे यंत्रीकरण होऊन, पुढे **औद्योगिक क्रांती** झाली; कसबी कारागीरांकडून लहान प्रमाणावर चाललेल्या अनेक व्यवसायांचे मोठाल्या कारखान्यात रूपांतर झाले; व मग, या कारखान्यांत तयार होणाऱ्या मालाला, मोठाल्या आगबोटींच्या साह्याने जगभरच्या बाजारपेठा उपलब्ध झाल्या. हळूहळू, विकसित व अविकसित राष्ट्रे अशी जगातल्या समाजांची विभागणी झाली व आज त्या परिस्थितीवर त्या त्या समाजांची सुखदुःखे अवलंबून आहेत. आता त्याच चालीवर, संगणक हा माणसाच्या मेंदूकडून होणारी अनेक कामे सहस्रपट प्रभावीपणे उचलू शकतो, एवढेच नव्हे तर, संगणकाच्या आज्ञेनुसार चालणाऱ्या अनेकविध स्वयंचलित यंत्रांकडून कर्मचाऱ्यांच्या व्यक्तिगत कौशल्यावरही वरताण करणारे उत्पादन होऊ शकते, हे प्रस्थापित झाल्यामुळे, कसबी, बिनकसबी श्रमिक, तसेच सुशिक्षित बाबू व इतर अनेक कर्मचारीवर्ग बेकारीत लोटले जाऊन, **दुसरी औद्योगिक क्रांती** घडण्याची भीती अनेक विचारवंतांना वाटू लागली आहे.

'आता अणुयुग सुरू झाले आहे!' 'अवकाशयुग सुरू झाले आहे!' या विधानांनी ज्याप्रमाणे या शतकातील वैज्ञानिक प्रगतीतील या दोन महत्त्वाच्या टप्प्यांचा उल्लेख केला जातो, तसाच उल्लेख संगणकाच्या बाबतीत करून 'आता संगणक युग सुरू झाले आहे!' असे म्हटल्यास ते फारसे वावगे ठरणार नाही, इतके या साधनाचे महत्त्व आहे.

संगणकाच्या बाबतीतील विजेची कामगिरी

'संगणक विजेच्या साह्याने गणित सोडवितो' हे विधान, तसे म्हटल्यास स्वयंपूर्ण आहे व प्रायः सर्वांना ज्ञात आहे. पण आपणांस या गोष्टीतील तपशील किती ठाऊक आहे, हा महत्त्वाचा प्रश्न आहे. विजेच्या कर्तबगारीचे इतर अनेक पैलू, त्यांच्या कमी अधिक खुलाशांसह आपणांस परिचित आहेत. त्यांची व प्रस्तुत गणित सोडविणाऱ्या पैलूंची तुलना करणे येथे इष्ट वाटते.––विजेने उष्णता व प्रकाश कसा मिळतो व स्वयंपाकघरातल्या मिक्सरपासून ते आगगाडीच्या इंजिनापर्यंतची यंत्रे कशी चालतात

या चमत्कारांची नवलाई आता उरलेली नाही. दुसरी गोष्ट, खेड्यापाड्यांतूनही आता रेडिओ, टी. व्ही. पोचले आहेत. (तार व टेलिफोन ही साधने तर फार जुनी झाली.) या साधनांच्या माध्यमाने ध्वनी व दृश्य यांचा लाभ वीज दूरवर कसा करून देते, याची, अपूर्ण असली तरी बरीच रास्त कल्पना सुशिक्षित मराठी वाचकांना झाली आहे. ' ध्वनी, तसेच (दृश्य वस्तूंपासून निघणारा) प्रकाश यांची कंपने असतात, ती विजेशी संबंधित अशा कंपनांत परिवर्तित करून व त्यांवर आरूढ करवून प्रक्षेपित केली जातात व ग्रहण-यंत्रात त्यांचे पुनः परिवर्तन घडून मूळ ध्वनी व दृश्ये श्रोत्याला, प्रेक्षकाला प्राप्त होतात ', असा या चमत्कारांचा ढोकळ खुलासा बहुतेकांना माहीत असतो. या सिद्धींच्या प्रत्येक टप्प्यावर कितीतरी महत्त्वाचे तपशील आहेत; पण त्यांचे पूर्ण शास्त्रीय आकलन करून घ्यायचे असेल तर वीज व वीजकविज्ञान (Electronics) यांची अनेकानेक प्रमेये व त्यांवर आधारलेली तंत्रे यांचा अथपासून अभ्यास करावा लागेल; आणि ही गोष्ट सर्वसामान्य जिज्ञासू व्यक्तीकडून मुळीच अपेक्षित नाही. तेव्हा येथे वरील खुलाशा-वर समाधान मानणे रास्त ठरते.

आरशात काय किंवा छायाचित्रात काय, पदार्थांचे चित्र-प्रतिचित्र-उठू शकते यांत काही अगम्य असल्याचे कुणाला जाणवत नाही; फोनोग्राफच्या तबकडीवर गाण्या-बोलण्याच्या ध्वनीची नोंद होऊ शकते, या तंत्रातही फारसे काही अगम्य नाही; आणि पुढे, तशाच काही तंत्राने रेकॉर्ड-प्लेअरच्या टेपवर ध्वनी नोंदला जातो हेही गृहीत धरता येते. या नोंदलेल्या गोष्टींचे योग्य तसे परिवर्तन व प्रेषण घडविणे एवढीच काय ती विजेची किमया सामान्यांना अनाकलनीय उरते आणि तेवढ्यापुरती ती तशीच राहू देऊन केलेले रेडिओ, टी. व्ही. या चमत्कारांचे विश्लेषण मग समाधानकारक ठरते.

पण **विजेने गणित कसे सुटते ?** या चमत्काराचा खुलासा मात्र जिज्ञासू मराठी वाचकांनाही अद्याप सांगितला गेल्याचे आढळत नाही. या चमत्काराच्या अगम्यतेत पुढील कारणामुळेही भर पडत असेल. वरच्या परिच्छेदात उल्लेखिलेल्या सर्व चमत्कारांत, विजेने करावयाचे ते काम केवळ निरोप्याच्या किंवा चाकराच्या कामासारखे आखीव असते. तिला विचारशक्ती असण्याची काहीच अपेक्षा नसते. बटन दाबले की तारेतून वाहात जाऊन दिवा प्रदीप्त करायचा, याच प्रकारचे तिचे काम असते व वीज ते करते. काडी ओढल्यावर ती पेटून अग्नी निर्माण व्हावा या गोष्टीइतकेच विजेचे हे वर्तन सहज-स्वाभाविक असते. मग हीच वीज संगणकाच्या अंतरंगात ' गणित सोडविण्याचे डोक्याचे काम ' कसे करीत असेल ? हा मोठाच कुतूहलाचा प्रश्न उभा राहतो. गणित सोडविण्याचे काम इतके आखीव (mechanical), संगणकाच्याने करावे असे कसे असू शकेल ? ते करण्याकरता काही बौद्धिक क्षमता असावी लागणारच ! उदा. गणितातल्या अंकांचे, संख्यांचे व राशींच्या मूल्यांचे यथार्थ आकलन व्हायला हवे; त्यांनंतर गणिती कृती करताना त्या त्या परिस्थितीचा निर्णय घेण्याची काही शक्ती हवी; एवढेच नव्हे, तर पूर्वानुभवावरून प्राणिमात्राला लाभते तशी स्मृतीसारखीही काही क्षमता हवी.

मग, वर वर्णिलेल्या केवळ आज्ञाधारक अशा विजेच्या अंगी मानवी मेंदूच्या या शक्तीही असतात की काय हा प्रश्न कुणाही जिज्ञासूपुढे उभा राहतो.

अशा परिस्थितीत, ' होय जवळ जवळ तसेच समजायला हरकत नाही; विजेने गणित सुटताना कित्येक घटना घडतात, पण त्या समजायला गहन आहेत ', असे उत्तर जिज्ञासू व्यक्तीला दिले गेले, तर तो मोठाच अन्याय होईल! रेडिओ, टी. व्ही. या चमत्कारांच्या स्पष्टीकरणात एखादा दुवा (त्याचे स्पष्टीकरण न करता) बाजूस ठेवला हा फारसा अन्याय नव्हे. पण येथे, ' गणित कसे सुटते ' या बाबतीतले कोणतेच दुवे सांगितले नाहीत, अथवा मधल्या दुव्यांचे–केवळ ते संख्येने अनेक आहेत म्हणून– स्पष्टीकरण टाळले व विजेलाच तिच्या अंगी नसलेले, मानवाच्या मेंदूचे गुण प्रदान करून आपण गप्प बसलो तर ते ठीक होणार नाही.

वस्तुस्थिती अशी आहे की, येथे, गणित सुटण्याच्या प्रक्रियेतले मधले दुवे समजून घेणे, सकृतद्दर्शनी वाटते तितके अवघड नाही; व त्यांचे आकलन होण्याकरता वीजक-विज्ञानातील सिद्धांतांचा फार मोठा अभ्यास आधी अवश्यमेव करावा लागतो असेही नाही. एवढे खरे की, येथे ज्ञान-साधनेकरता बऱ्याच पायऱ्या चढून जाव्या लागतील, पायरी–पायरीवर थांबून थोडा अभ्यास करावा लागेल व खालच्या वरच्या पायऱ्यांचे थोडे अवधान ठेवावे लागेल, पण समजायला गूढ असे फारसे काही मग उरत नाही. **थोडक्यात सांगायचे, तर विषयाच्या अवघडपणाची अडचण येथे तितकीशी भासणार नाही. मात्र विषयाचा व्यापच मोठा असल्याने वाचकाकडून चिकाटीची अपेक्षा आहे हे खरे.**

या निवेदनावरून, या चमत्कारातही वीज फक्त सांगकाम्याचेच काम करते हे स्पष्ट झाले असेल. येथेही चतुरपणा आहे तो तिच्याकडून काम करून घेणाऱ्या मानवाचाच! सांगितलेले गणित योग्य तऱ्हेने सुटावे याकरता त्यानेच संगणकामध्ये बसविलेल्या असंख्य कल्पक योजनांचा!

विषयविवेचनाचा स्तर व रीती

तेव्हा अशा या अतर्क्य कर्तबगारीच्या व इतक्या महत्त्वाच्या शास्त्रीय साधना-विषयी मराठीत निदान ' पॉप्युलर सायंटिफिक् ' म्हणजे ' सुबोध स्तरावरील ' वाङ्मय विपुल असावे याविषयी दुमत असणार नाही. अशा वाङ्मयात विषयविवेचनाची व्याप्ती, स्तर व पद्धती यांच्या दृष्टीने खूप विविधता असू शकते. माध्यमिक शालान्त परीक्षेच्या जवळपास शिकलेला व विज्ञानाची गोडी असलेला विद्यार्थी हा (रास्तपणेच) अशा वाङ्मयाचा प्रमुख वाचक म्हणून अभिप्रेत असतो. त्यास दृष्टीपुढे ठेवून केल्या गेलेल्या लेखनातही विषय मांडण्याचे वेगवेगळे प्रकार असू शकतील. प्रस्तुत लेखकाने असा हेतू मनी धरून या विषयाची मांडणी केली आहे की, उपरोक्त गटातील सर्वसामान्य प्रातिनिधिक वाचकालाही, त्याच्या पूर्वज्ञानाशी सांधा जुळेल अशा सोपपत्तिक पद्धतीने

सांगितलेले या विषयाचे ज्ञान मिळावे व एखाद्या चिकित्सक वाचकाच्या शंकांचेही समाधान होऊन तो अधिक विचारप्रवृत्त व्हावा.

या हेतूमुळे विवेचनाचा विस्तार होतो हे अंशतः खरे आहे. **पण विस्ताराचे मुख्य कारण, हा विषयच फार मोठा आहे हे होय.** वाचकास तो सर्वस्वी नवीन आहे व त्याची सर्वच प्रमेये दुर्बोध नसली तरी विषयाला फाटे (आणि फाट्यांना फाटे) म्हणजे उपविषय अनेक आहेत; आणि यांतील बहुतेकांची अल्पस्वल्प चर्चा आवश्यक आहे. या प्राप्त परिस्थितीमुळे, पुस्तक वाचताना आकलन होत जाणाऱ्या ज्ञानकणांमध्ये संगतता राखण्याकरता व विवेचनाची सुबोधता संभाळण्याकरता काही एक विस्तार अत्यावश्यक ठरतो.

लेखनहेतूच्या व तदनुरूप स्वीकारलेल्या विवेचनपद्धतीच्या या समर्थनाचा भावार्थ असा सांगता येईल की, प्रस्तुत लेखकाने एखाद्या शिक्षकाच्या किंवा चिकित्सक विद्यार्थ्यांच्या भूमिकेवरून हे लेखन केले आहे. यामुळे, प्रसंगोपात्त अनेक शास्त्रीय सत्यांचे (Scientific facts चे) नेटकपणे का होईना, पूर्वसूत्र सांगणे, तसेच त्या त्या प्रसंगीच्या वर्ण्य विषयाशी मागे सांगितलेल्या बाबींचे संबंध सांगताना आवश्यक ते पुनरुल्लेख करणे इष्ट वाटले; पण अवधान सतत हे ठेवले, की वाचकाला या विषयाच्या माहितीचे विविध टप्पे कलेकलेने व योग्य क्रमाने समजत जावेत आणि हे घडत असताना त्याला उद्भवणाऱ्या शंकांचेही निरसन व्हावे.

एवंच विषय शक्य तेवढ्या सुलभ रीतीने मांडला आहे. पण मूळ विषयच दीर्घ-व्याप्तीचा, आणि त्याची काही प्रमेये कळण्यास थोडी अवघड असल्याने, **या चर्चेचे स्वरूप एखाद्या क्रमिक पुस्तकासारखे झाले आहे.** अशा परिस्थितीत जिज्ञासू वाचकाकडून किंचित सहकार्य मिळावे अशी विनंती आहे. त्याने थोड्या चिकाटीने पुस्तकातील प्रकरणे क्रमशः अभ्यासल्यास त्याला कॉम्प्युटरबद्दलची स्थूल पण प्रायः साकल्याने माहिती मिळेलच असा निर्वाळा मग देता येतो.

परिभाषेचा प्रश्न

प्रस्तुत विवेचनात परिभाषेविषयी अवलंबिलेल्या धोरणाचाही उल्लेख येथे करणे इष्ट वाटते. या विषयाशी संबंधित असलेल्या अन्य शास्त्रशाखांतील इंग्रजी पारिभाषिक शब्दांकरता, अनेक बाबतींत, वेगवेगळ्या संस्था, व्यक्ती यांनी सुचविलेले वेगवेगळे शब्द उपलब्ध आहेत. त्यांतून योग्य शब्दाची निवड करताना ' अन्वर्थकता ' या लक्षणाला येथे प्राधान्य दिले आहे. पण प्रस्तुत विषयाच्या चर्चेत आवश्यक असलेल्या अनेक परकी (इंग्रजी) शब्दांना देशी पारिभाषिक शब्द अद्याप सुचविलेच गेलेले नाहीत. (आणि हे साहजिकच आहे.) अशा काही जागी नवीन स्वरचित शब्द योजले आहेत. त्यांच्या अन्वर्थकतेचा व्युत्पत्ती आदी खुलासा तर, तो शब्द प्रथम योजताना दिला आहेच; पण त्यावेळी आणि नंतरही अनेकदा मूळ इंग्रजी शब्द कंसात दिला आहे.

अशा काही प्रसंगी, वाक्यातील देशी पारिभाषिक शब्दाला एखादा विभक्तिप्रत्यय लागलेला असेल तर त्यापुढच्या कंसातील इंग्रजी शब्दालाही तो विभक्तिप्रत्यय लावलेला आहे. हेतू हा की, वाचकाने कंसातील मजकूर वाचला अगर वगळला तरी वाचताना त्याला अडखळल्यासारखे होऊ नये आणि त्या त्या प्रसंगीच्या विवेचनातील शास्त्रीय माहितीचे ग्रहण करण्यात यत्किंचितही अडथळा येऊ नये.

याच कारणाकरता, रूढ इंग्रजी संज्ञांच्या (विशेषतः वस्तूंच्या नावांच्या) ऐवजी देशी, संस्कृत शब्द शक्य असूनही काही ठिकाणी वापरलेले नाहीत. उदा. डायोड्, ट्रॅन्झिस्टर या वीजकीय साधनांच्या रचनांचा, कार्यपद्धतींचा खुलासा करून ते अनुक्रमे द्वि-अग्र व त्रि-अग्र वीजकीय साधने असल्याचे सांगितले आहे; पण नंतर पुनःपुन्हा त्या वस्तूंचा उल्लेख करताना ' द्वि-अग्र साधन ', ' त्रि-अग्रित ' अशांसारखे शब्द रचून वापरले नाहीत. तीच गोष्ट ' कॅथोड् रे ट्यूब ' सारख्या आणखी अनेक संज्ञांची.

संगणक-विज्ञानातील विविध शास्त्रीय माहितीचा, तदंतर्गत शास्त्रीय उपपत्ती, सिद्धांत (concepts) यांचा वाचकाला बोध व्हावा व तोही सुलभतेने व्हावा, वाचक नुसता पारिभाषिक शब्दावलीच्या जंजाळात अडकून पडू नये, हे मुख्य धोरण ठेवून, शक्य तो बालबोध भाषा व आवश्यक तेथे (पूर्ण खुलाशासह) योग्य परिभाषा वापरून विषय-विवेचन केले आहे. या (किंवा यासारख्या) विषयाचे ज्ञान मिळविण्यास थोडे प्रयास पडतात म्हणून मराठी वाचकाने त्याला पारखे राहावे हे योग्य नाही. प्रस्तुतच्या महत्त्वाच्या विषयाबाबत तर ते कधीच समर्थनीय ठरणार नाही ! आपण अधिकाधिक विज्ञानाभिमुख व्हावे ही सर्वमान्य गोष्ट आहे.

त्या दृष्टीने केलेला हा अल्प प्रयत्न वाचकांपुढे नम्रपणे मांडीत आहे.

ऋणनिर्देश

साहित्यसंस्कृती मंडळाने हे पुस्तक लिहिण्याची संधी दिली ही समाधानाची व अभिमानाची गोष्ट होय. मंडळाचा मी अत्यंत आभारी आहे.

पुस्तक-लेखनाच्या कामी माझे स्नेही श्री. जतीन्द्र कन्हाडकर यांनी अनेक उपयुक्त सूचना तर केल्याच, पण विपुल संदर्भ-साहित्य पुरवून लेखनास उत्तेजन दिले, याचा कृतज्ञतापूर्वक उल्लेख करतो. १७ व्या प्रकरणात दिलेल्या चित्रकथेतील छायाचित्रा-विषयीचा ऋणनिर्देशही येथे करतो.–ही छायाचित्रे मेसर्स किर्लोस्कर कमिन्स, पुणे यांच्या सौजन्यपूर्वक परवानगीने त्यांच्या कॉम्प्युटर सेंटरमध्ये काढली आहेत. किर्लोस्कर कमिन्सचे संचालक व या कामी ज्यांची मला अमूल्य मदत लाभली ते माझे स्नेही श्री. अशोक सराफ व श्री. बिपिनचंद्र नारिया यांचा मी ऋणी आहे. सेंटरचे विभाग-प्रमुख व त्यांचे सहकारी यांचेही, त्यांनी दिलेल्या सहकाराबद्दल आभार.

संगणक हा विषय मराठी वाचकाला अगदी नवीन असल्यामुळे त्याचे महत्त्व पुस्तकाच्या सुरुवातीस या क्षेत्रातील एखाद्या अधिकारी व्यक्तीने विशद करून सांगावे य

हेतूने, पुस्तकाची छपाई पूर्ण होत आल्यावर अशा व्यक्तींचा शोध सुरू केला. बोटावर मोजता येतील इतकीच या क्षेत्रातील मराठीभाषी तज्ज्ञांची नावे कळली ! केंद्रीय नियोजन मंत्रालयाच्या संगणक केन्द्राचे संचालक श्री. मुकुंद सदाशिव गोखले व टाटा इन्स्टिटयूट ऑफ फंडामेंटल रिसर्च, मुंबई–५ या संस्थेच्या संगणकविभागातील संशोधक-शास्त्रज्ञ डॉ. म. वि. पिटके यांची नांवे कळल्यावर त्यांच्याकडे मुद्रित पुस्तकाचे सुटे फॉर्म्स पाठविले व पुस्तकावर अभिप्राय लिहिण्याची आणि संगणक-विज्ञानाचे महत्त्व निवेदन करण्याची विनंती केली. या दोन्ही तज्ज्ञांनी लिहून पाठविलेले गुणग्रहणात्मक पुरस्कार सोबत जोडत आहे. या विषयाच्या ज्ञानाचा प्रसार व्हावा अशी अतीव आस्था असल्या-मुळेच त्यांनी हे काम केले असले, तरी, ओळखदेख नसता माझ्यासारख्या सामान्य लेखकाच्या विनंतीला त्यांनी मान दिला याबद्दल मी त्यांचा ऋणी आहे. माझ्या प्रस्तावने-बरोबर या पुरस्कारांचाही समावेश करण्यास साहित्य-संस्कृती मंडळाने संमती दिली याकरता मंडळाचे पुन्हा विशेष आभार मानतो.

तज्ज्ञांनी याप्रमाणे माझ्या विषयविवेचनाचे कौतुक केले असल्याने, आता वाचकांनाही ते उद्बोधक व रोचक वाटेल असा बळकट भरवसा वाटतो.

पुस्तकाच्या अखेरीस संदर्भग्रंथ, लेख यांची यादी दिली आहे. चिकित्सक वाचकांना अधिक वाचनाकरता ते साहित्य उपयुक्त ठरेल.

स. ग. काजरेकर

पुरस्कार

. १ .

टाटा इन्स्टिट्यूट ऑफ फंडामेंटल रिसर्च, मुंबई-५ या संस्थेच्या संगणक विभागातील संशोधन-शास्त्रज्ञ डॉ म. वि. पिटके यांचा पुरस्कार

मराठी वाचकाला संगणकाचे विज्ञान व तंत्र यांचा परिचय करून देण्याची कल्पनाच मुळात प्रशंसनीय आहे. ह्यामुळे, हे अवघड काम अंगावर घेऊन यशस्वीपणे पार पाडल्याबद्दल श्री. काजरेकरांचे अभिनंदन केले पाहिजे. संगणकाची कार्यपद्धती व त्याचे उपयोजन या विषयी जिज्ञासा असलेले सर्व लोक या पुस्तकाचे मनःपूर्वक स्वागत करतील. मराठीतील या विषयावरील शास्त्रीय साहित्याच्या दुर्मिळतेमुळे तर ग्रंथलेखकाने या कामी घेतलेले परिश्रम अधिकच उपयुक्त व महत्त्वाचे ठरतात. श्री. काजरेकरांनी संगणकाच्या अंतर्भागातील विविध घटक, त्यांची कार्ये व त्यांचे नियंत्रण या गोष्टी समजावून सांगण्याचा प्रयत्न केला आहे. शालेय ज्ञानापेक्षा विशेष माहिती नसलेल्या वाचकांकरता अशा तऱ्हेचे पुस्तक लिहिणे हे सोपे काम नाही. संगणकातील घटक व त्यांना जोडणाऱ्या गुंतागुंतीच्या वीजसरण्या यांची कामे सुबोध भाषेत विशद करून सांगण्याकरिता नक्कीच विशेष परिश्रम आवश्यक ठरतात. आणि आश्चर्याची व कौतुकाची गोष्ट अशी की, लेखकाने हे विशदीकरण, क्लिष्ट तांत्रिक परिभाषा न वापरताही यशस्वीपणे करून दाखविले आहे. एवढेच नव्हे तर आवश्यक तेथे त्याने सोपे आणि कदाचित अधिक योग्य पारिभाषिक शब्द परिणामकारकतेने योजिले आहेत.

सुरुवातीस, समकृती संगणक आणि पुस्तकाचा मुख्य वर्ण्य विषय असलेला अंकीय संगणक यामधील भेदांचा खुलासा करून लेखकाने अंकीय संगणकाच्या रचनेचा व कार्यपद्धतीचा स्थूल आराखडा मांडून दाखविला आहे. यानंतर द्विमान अंकपद्धती व द्विमान अंकगणित यांचे विवेचन आले आहे. विद्यार्थ्यांना ते अत्यंत उपयुक्त वाटेल. यानंतरच्या दोन प्रकरणांत, संगणकामध्ये योजिल्या जाणाऱ्या वीजप्रवाह-नियंत्रक साधनांची व वीजसरण्यांची सुयोग्य चर्चा येते व नंतर संगणकाने सोडविण्याच्या गणितातील अंकांची तर्कानुसार योग्य ती देवघेव करणाऱ्या सरण्यांचे विवेचन केलेले आढळते. या पुढील प्रकरणांत लेखकाने संगणकाचा स्मृतिसंग्रह, संगणकाचे काम त्याच्या सुपूर्द करणाऱ्या व कामाचे फल प्राप्त करून देणाऱ्या यंत्रणा व या सर्वांचे नियंत्रण करणारी व्यवस्था यांची खुलासेवार माहिती सांगितली आहे. पुस्तकास जोडलेल्या परिशिष्टात, आपण लिहिता-बोलताना योजतो त्या विधानांचेही तर्कसंगत व गणिती विश्लेषण कसे

शक्य होते या विषयाची प्राथमिक माहिती लेखकाने सांगितली आहे. विशेष जिज्ञासू वाचकांना तीही उपयुक्त वाटेल. पुस्तकाच्या अखेरीस दिलेल्या सूचीमुळे पुस्तकाची उपयुक्तता अधिकच वाढते.

एकंदरीने, लेखकाने या पुस्तकाद्वारे अंकीय संगणक या विषयाचा एक चांगला सुबोध परिचय करून दिला आहे. अभ्यासूंना तो फार उपयुक्त ठरेल. शाळा व महाविद्यालये यांमध्ये या पुस्तकाचा प्रसार व्हावा अशी मी जोरदार शिफारस करतो.

म. वि. पिटके

. २ .

केन्द्रीय नियोजन मंत्रालयाच्या ' कॉम्प्युटर सेंटर 'चे संचालक श्री. मु. स. गोखले यांचा पुरस्कार

उपजीविकेच्या निमित्ताने महाराष्ट्र सोडल्याला दोन दशकांच्यावर अवधी लोटल्यामुळे, प्रस्तुत पुस्तकाच्या लेखकाच्या या क्षेत्रातील अनुभवाची वा मराठी भाषेतील या विषयावरील वाङ्मयाची मला पुरती कल्पना नाही. मध्यंतरी एखादादुसरा फुटकळ लेख मराठी मासिकातून वाचल्याचे आठवते. परंतु या पुस्तकात केली आहे तितकी सविस्तर मांडणी माझ्यातरी मराठी वाचनात आलेली नाही. संगणकासारख्या कठीण विषयावर मायभाषेत ग्रंथरचना करणे एवढी एकच गोष्टही लेखकाच्या गौरवास पुरेशी आहे. संगणकाच्या कार्याची उकल विस्ताराने करताना अनेक शास्त्रीय तत्त्वे व गुंतागुंतीची प्रमेये शक्य तो सोप्या भाषेत सांगण्याचा लेखकाचा प्रयत्न आहे. अर्थात मूळ विषयच दुर्बोध आहे याला त्यांचा इलाज नाही. असे असूनही या विषयाच्या अभ्यासाला वाचक प्रवृत्त होतात ते दोन कारणांमुळे : एकतर बौद्धिक जिद्द व दुसरे म्हणजे मानवाच्या वैचारिक साधनसामग्रीमध्ये संगणकाने जी अपूर्व भर घातली आहे, त्याच्या प्रभावापुढे नतमस्तक होऊन. " शकलृपचमुचिरिचुबच्‌विच्‌ " चे जंजाळ कुणालाही आपण होऊन हवेसे वाटत नाही. तरीही ते आत्मसात करण्याचा हिय्या करवते ती अथांग संस्कृत साहित्याची व वैदिक संस्कृतीची मोहिनी ! त्याचप्रमाणे, दुसऱ्या औद्योगिक क्रान्तीच्या टप्प्यावर मानवाला नेऊन त्याच्या बुद्धिमत्तेशी स्पर्धा करू पहाणाऱ्या या संगणकाची नीट ओळख करून घेण्यासाठी प्रवृत्त झालेला मराठी वाचकवर्ग वर्ण्यविषयाच्या क्लिष्टतेपुढे माघार घेणार नाही व श्री. काजरेकरांच्या प्रयत्नांचे चीज होईल अशी आशा वाटते.

आपल्या प्रास्ताविक निवेदनात लेखकाने ' गणकयंत्र ' यापेक्षा ' संगणक ' संज्ञा शब्दप्रयोगावर भर दिला आहे. कुरुक्षेत्र विश्वविद्यालयात त्यांच्या एतद्विषयक संस्थेचे नामकरण ' पारिकलन केंद्र ' असे केलेले आढळले. मूळ कल्पनाच जेव्हा

आपण परकीय भाषेतून घेतो, तेव्हा समानार्थी शब्द योजताना असे पर्याय निवडणे काही अंशी अपरिहार्य होते. तथापि, 'सं' या उपसर्गाच्या 'सम्यक्' या मूळ अर्थाकडे लक्ष वेधले असता 'संस्कृति मंडळा'तल्या संस्कृति या शब्दाइतकाच संगणक हा प्रयोग निःसंशय अधिक उचित ठरतो. मात्र अन्य काही शब्दयोजनेबद्दल लेखकाशी मी तितकासा सहमत होऊ शकत नाही. उदाहरणार्थ वेग, चुंबक, स्वयंचलित हे शब्द मराठीत इतके रूढ आहेत की, त्यांच्याऐवजी त्वरा, कर्षुक, आपोआपी असे बदल वर्ण्य विषयाचा बोजडपणा वाढवण्यासच हातभार लावतात असे वाटते शिवाय, पान ७४।७५ वर 'निर्गुण' या खोल अर्थाच्या शब्दाऐवजी सरळ सोपा 'इतर' हा शब्द चपखल बसेल. तसेच १७ व्या अध्यायाचा विषय जो Programming आहे, तो प्राज्ञापन याऐवजी 'कोणताही प्रश्न संगणकाकडे सुपूर्त करण्यापूर्वीचे यथार्थ आकलन' या दृष्टीने 'प्राक्कलन' या शब्दाने जास्त चांगला ध्वनित होऊ शकेल असे वाटते, मात्र तो जरा जास्त कठीण आहे.

अंतरंग-परीक्षणाच्या दृष्टीने दोनतीन मूलभूत गोष्टींचा उल्लेख येथे करणे अपरिहार्य ठरेल.— इतकी मूलभूत क्रांती घडविणाऱ्या या संगणकाच्या अभ्यासाचे अनेक पैलू असले तर नवल नाही. पैकी, त्याच्या अंतरंगरचनेची (Hard-ware) गुंतागुंत उकलण्यावरच लेखकाचा भर दिसतो. त्यासाठी द्विमानांक पद्धती, त्यावर आधारलेले अंकगणित, बूलचे बीजगणित, तर्काधिष्ठित बीजसरण्या, संकलित सरण्या, मॅग्नेटिक बबल्स, डी-मॉर्गनची प्रमेये व त्यांचे मूलभूत महत्त्व इ. विशद करून सांगण्यात लेखकाने कौतुकास्पद यश मिळवले आहे. तथापि, अंतर्गत कार्यक्षमतेचे रहस्य त्यावरून समजले, तरी अपेक्षित काम संगणकाकडून करवून घेण्याच्या तंत्राचे (Software) सलग असे आकलन या पुस्तकावरून पुरते होत नाही. संगणकाच्या उत्क्रांतीच्या इतिहासाचाही असाच दाखला आहे. या प्रकारच्या यंत्ररचनेचा पूर्वसूरी प्रा. बॅबेज याच्या कार्याची तारीफ तत्कालीन समाजाने 'मूर्खपणा' म्हणूनच केली होती; त्याच्या मोठेपणाची बाजवी जाणीव झाली ती विख्यात कवी बायरन् याची कन्या 'कौंटेस ऑफ लव्हलेस' या, जगातील आद्य प्राज्ञापिकेने (Programmer) त्या यंत्राकडून काम कसे करवून घ्यायचे याची सुबोध उकल केल्यानंतरच! आजही संग-णकाकडून सतत काम करवून घेण्यासाठी लागणारे सयुक्तिक प्राज्ञापनाचे तंत्र हे त्याच्या निर्मितीइतकेच, किंबहुना जास्तच महत्त्वाचे ठरले आहे.

(४) संगणकाला फक्त द्विमानांक भाषा समजू शकते, कारण त्याचे घटक चुंबकीय व विजेच्या नियमांनी बद्ध आहेत. असे असून, त्याच्याकडून महत्त्वाची कामे बिनचूक करून घ्यावयाची असतील तर सर्वसामान्य वापरातील मानवी भाषा व दशमान पद्धती यांचा द्विमानांक यांत्रिक भाषेशी मेळ घालावा लागतो. यासाठी प्राज्ञापनाच्या अनेकविध बोली, त्यांची वैशिष्ट्ये व उपयोगाची क्षेत्रे, भाषांतर पद्धती, नमुन्यादाखल काही आज्ञा-सूचना प्रकार इ. माहिती वाचकांना फार उपयुक्त झाली असती. यांच्या

अभावी, तुकारामबुवा म्हणतात त्याप्रमाणे " कानडीने केला मराठी भ्रतार। एकाचे उत्तर एका न ये ।। " अशाच प्रकारचा गोंधळ या क्षेत्रात माजतो. शिवाय संगणकाला प्रत्येक गोष्ट अत्यंत बारीक सारीक तपशीलासह सांगावी लागत असल्याने, विचाराधीन समस्या सोडविण्याच्या पायऱ्यांचा परस्परांशी संबंध दाखविणाऱ्या आलेखनाचे (flow charting) तंत्रही येथे समजून देणे उपयुक्त ठरले असते; त्यायोगे कोणतीही विशिष्ट समस्या सोडवताना, संगणकाच्या निरनिराळ्या अंग-उपांगांचा कमी अधिक वापर कसा करावा लागतो याचे ज्ञान वाचकाला झाले असते. Micro-programming-सूक्ष्म-प्राज्ञापन-याच्या वाढीमुळे (Hardware) अंतर्रचना व (Software) प्राज्ञापन यांचे संबंध अधिकच एकवटले आहेत. प्राज्ञापनाचे तंत्र हे बुद्धिमंतांना आव्हान देणारे क्षेत्र आहे व त्यातील कामाला भरपूर परदेशी मागणी आहे. हे आव्हान मराठी तरुणांनी स्वीकारावयास हवे, त्यासाठी श्री. काजरेकरांनी या पुस्तकाला जोड म्हणून दुसरे एक सुबोध पुस्तक साहित्य-संस्कृती मंडळातर्फे प्रसिद्ध करावे अशी माझी नम्र सूचना आहे.

(५) विषयाच्या पूर्णतेच्या दृष्टीने गणनशास्त्रात झालेल्या उत्क्रांतीचा आढावा घेऊन यांत्रिक पद्धतीचा अवलंब कसाकसा सुधारत गेला हे पुस्तकाच्या सुरुवातीस यावयास हवे होते. या इतिहासाची ओळख व पूर्वीच्या शास्त्रज्ञांचा ऋणनिर्देश यांनी वाचकाची ज्ञानकक्षा रुंदावली असती. संगणक तयार करणाऱ्या जागतिक संस्था, प्रमुख संगणकांची नावे व ढोबळ तुलना, किमती, भारतातील प्रमुख केंद्रे, संगणकविषयक शिक्षण देणाऱ्या संस्था इ. माहिती दिल्यास पुस्तक अधिक उपयुक्त ठरते. ट्रॉंबे डिजिटल कॉम्प्युटर्स (TDC) या नावाच्या अनेक संगणकांची निर्मिती भारत सरकारच्या अधीन असलेली E. C. I. L. ही संस्था हैद्राबाद येथे करू लागली असून हा उद्योग झपाट्याने वाढत आहे. त्यांचा पहिला संगणक मुंबईतच जन्मला होता हे ' ट्रॉंबे ' या या नावावरून स्पष्टच आहे. नंतर ही संस्था हैद्राबाद येथे हलवली जात असताना महाराष्ट्र सरकारने पाळलेल्या निष्क्रीय मौनामुळे वा हलगर्जीपणामुळे एका अत्याधुनिक क्षेत्रात मराठी तरुणांना मिळू शकणाऱ्या अमोल संधीवर पाणी पडले आहे हे सत्यहि या मराठी पुस्तकाबरोबरच प्रकाशात यावयास पाहिजे.

(६) संगणक मानवावर मात करील किंवा काय असा एक सर्वंकष प्रश्न पुस्तकाच्या समारोपांत पृष्ठ १९५ वर आला आहे. त्यासंबंधाने काही विचार स्पष्ट करणे प्रस्तुत ठरेल. या संदर्भामध्ये लक्षात ठेवावयास हवे की, प्रा. बूल यांच्या बीजगणिताचा पायाच मुळी तर्काधिष्ठित विचाराच्या नियमांचे संशोधन (Investigation into the Laws of Thought, Mathematical analysis of Logic) असा होता. मानवी विचारपद्धती आणि वीज व चुंबकीय क्षेत्रातले व्यापार या परस्परभिन्न प्रांतांमध्ये बूलच्या बीजगणिताचे सिद्धांत सारखेच लागू पडतात असे ध्यानात आल्या-नंतरच मुळी संगणकाची एवढी वाढ होऊ शकली. याशिवाय संगणकावर जे निर्णय सोपविता येतात, त्याच्या मुळाशी दोन संख्यांची तुलना असावी लागते; अशा असंख्य

तुलना कराव्या लागल्या तरी त्याची क्षिती संगणकाला नसते कारण त्या यंत्राची अथक कार्यक्षमता, विजेचा प्रचंड वेग आणि अथांग स्मृतिसंग्रह (virtual memory) वाटेल तितक्या संख्यागत तुलनांची दखल घेऊ शकतात. तेव्हा संगणकाची रचनाच अशी असते की त्यायोगे विवेचन (वि + विच् = निवडणे) शक्तीची नक्कल सुलभ व्हावी, किंबहुना त्यात मानवी मेंदूचा पराभव व्हावा. बुद्धिबळाचे सांगोपांग नियम व खाचखळगे, पाणिनीचे अपवादांसहित समग्र व्याकरण, चंद्रावर जाणाऱ्या मार्गाची इत्थंभूत समीकरणे व बदलत्या गुरुत्वाकर्षणाचे नियम इत्यादी विवेचक बुद्धीच्या बांधीव समस्या (Structured problems) हा भस्मासूर निमिषार्धात आत्मसात करतो. तरी प्राज्ञापन सांगोपांग झाले नसेल तर भस्मासुरालाही स्वतःच्या डोक्यावर हात ठेवण्याची मोहिनी होते. आणि ' बंबात भर वाल व जळण टाक ' अशी मोघम आज्ञा मिळालेला नवशिका नोकर ज्याप्रमाणे नेमका विस्तव विझवतो, त्याप्रमाणे हा संगणकही सर्व कामाचा गोंधळ उडवू शकतो. " तुमच्याकडे शून्य ($00.00) बाकी थकली आहे, ती तात्काळ जमा केली नाही तर कायदेशीर इलाज करावा लागेल " अशा अर्थाच्या नोटिसा अमेरिकेतील संगणकांनी दिल्याचे नमूद आहे. शालान्त परीक्षेच्या निकालाच्या गोंधळाचा अनुभव महाराष्ट्रातील जनतेला आहेच. तात्पर्य, बांधीव समस्या व संख्यागत तुलना हे संगणकाच्या राक्षसी सामर्थ्याचे रहस्य आहे.

(७) अर्थातच याउलट, त्याची मर्यादा सांगकाम्या राक्षसाच्या प्रतिभाहीनतेमध्ये आढते हे निराळे सिद्ध करून दाखवण्याची जरूर नाही. Unstructured किंवा Ill-defined problems म्हणजे विस्कळित अथवा मोजमापात ठीक न बसणाऱ्या समस्यांच्या बाबतीत संगणकाची मात्रा चालूच शकत नाही. देशापुढील आर्थिक–सामाजिक कूटप्रश्न एकट्याने आपण होऊन सोडविण्याच्या कामी '**योजना-भवना**'तील संगणक भरवशाच्या म्हशीसारखाच ठरू शकतो. दुर्लभ असला तरी तेथे जातीचा योजकच पाहिजे; एकट्या संगणकाचे ते काम नव्हे. ' प्रतिक्षणं यन्नवतां उदेति ' अशा कवित्वाच्या वा रमणीयतेच्या प्रांतात तो किंकर्तव्यमूढ बनतो. नुसत्या वय्याकरणी पंडिताकडून कालिदास वा शेक्सपिअरला भीति नसते. संगीत विद्यालयाच्या पदवीची गंधर्वांना वा स्वरसम्राज्ञीला पर्वा नसते. अथवा भूमितिनिष्ठ अशा Computer **art** संगणकीय कलेमुळे राजा रविवर्मा वा मोना लिसाचा चित्रकार लिओनार्डो डा व्हिन्सी बेचैन होत नाहीत. हाच न्याय प्रतिभेच्या क्षेत्रात संगणकाला लागू पडतो. 'तिये सिद्धप्रज्ञेचेनि योगे मनचि सारस्वत दुभे । मग सकल स्वयंभे । निघति मुखे ॥' अशी साक्ष प्रवरा नदीच्या काठी नेवाश्यास शके बाराशते बारोत्तरेमध्ये झाल्याचे आम मराठी जनतेच्या चांगलेच आठवणीत आहे; आणि वानगीदाखल अशी सिद्धप्रज्ञा वा प्रतिभा यांचा पुरावा म्हणूनच की काय (आधुनिक ज्योतिर्विदांचा आद्य प्रवर्तक **कोपर्निकस याच्या आधी अडीचशे वर्षे** झालेल्या) त्या प्रवचनांच्या ओघात **ज्ञानेश्वरांनी** अगदी सहजपणे खगोलशास्त्रातला मूलभूत सिद्धान्त नमूद केला की, ' उदो अस्ताचेनि प्रमाणे

जैसे न चालता सूर्याचे चालणे !'. अगदी अलीकडे म्हणजे गेल्या शतकाच्या अखेरीस **विवेकानंदासारख्या** कट्टर बुद्धिनिष्ठांनीही दार्शनिक प्रतिभेचे उन्मेष हे विवेचक बुद्धीच्या क्षेत्राबाहेरचे असल्याची ग्वाही शिकागो, न्यूयॉर्क येथील व्याख्यांनातून दिली आहे.

इतकेच नव्हे, तर अद्ययावत् मस्तिष्कशास्त्रानुसार (Neurology) विवेचक बुद्धि ही मानवी मेंदूच्या डाव्या बाजूमध्ये सीमित असून, भावना (emotion) अंतस्फूर्ति (intuition), सौंदर्यशास्त्र (aesthetics) दर्शन (perception) इत्यादि व्यवहार मेंदूच्या उजव्या बाजूकडून होतात. या उजव्या बाजूचे नियम व प्रक्रिया मानवालाच जेथे सांगोपांग कळलेल्या नाहीत, तेथे तद्विषयक प्राज्ञापन दुरापास्तच होय, आणि तोपर्यंत तरी मानवाचा उजवेपणा निर्विवाद सिद्ध आहे. किंबहुना संगणकाचा अधिकाधिक उपयोग मनुष्याने डावा मेंदू म्हणून करावा, आणि स्वतःच्या सर्व शक्ती उजव्या बाजूकडे वळविण्याची शिकस्त करावी, हेच धोरण मानवजातीच्या उन्नतीच्या दृष्टीने स्वागतार्ह ठरेल.

(८) अस्तु. पुस्तकाचा पुरस्कार फक्त स्तुतीपर नसून उचित रसग्रहणात्मक असावा या साहित्यक्षेत्रातल्या रिवाजानुसार या पुस्तकाच्या संदर्भात उपस्थित होणाऱ्या काही महत्त्वाच्या प्रश्नांचा परामर्ष घेणे आवश्यक होते. ही सर्व मूलभूत विचारांची दालने मराठी वाचकाला खुली करून देण्याचे श्रेय या पहिल्या संगणक-विषयक पुस्तकाला आहे. सुरुवातीच्या परिच्छेदात म्हटल्याप्रमाणे, हा विषयच इतका क्लिष्ट व बहुरंगी आहे की, २०० पानांच्या छोटेखानी पुस्तकात त्याच्या विविध बाजूंची उकल करण्याचे काम सोपे नाही. आणि म्हणूनच काजरेकरांच्या प्रयत्नाचे कौतुक करावयास हवे.

याकामी इतके परिश्रम घेतल्याबद्दल श्री. काजरेकर यांचे व त्यांना प्रोत्साहन दिल्याबद्दल महाराष्ट्र राज्य साहित्य व संस्कृति मंडळाचे पुनः एकवार अभिनंदन.

पी ३/२ बहुमंझीली,
रामकृष्णपुर, नवी दिल्ली

मुकुंद सदाशिव गोखले,
१-१०-१९७७

अनुक्रमणिका

सूचि

❦ ❦ ❦

शुद्धिपत्र

पृ.	ओळ	अशुद्ध	शुद्ध
१	५	घणे	घेणे
३	खालून ९ वी	खंडाची	खंडांची
७	१४	विदू	बिंदू
११	८	**स्मतिसंग्रह**	**स्मृतिसंग्रह**
१७	पृष्ठस्थळा	अंकानसारीतेचे	अंकानुसारीतेचे
१७	१५	**डकाट्रॉन**	**डेकाट्रॉन**
२५	खालून ७ वी	$\frac{१}{२} + \frac{१}{४} = \frac{१}{८}$	$\frac{१}{२} + \frac{१}{४} + \frac{१}{८}$
२९	१९	कृतील	कृतीला
३१	खालून ७ वी	तिथ	तिथे
३२	१५	घडविणाऱ्या	घडविणाऱ्या
३३	२	घड	घडू
३३	१६	१0000	३0000
३४	८	ता भेद	तो भेद
४३	खालून ३ री	पुढ	पुढे
५२	५	टलटसुलट	उलटसुलट
५६	खालून २ री	अनुकमे	अनुक्रमे
६५	२	ऋणवर्चस	ऋणवर्चस
६६	१५	ऋण-वर्चस	ऋणवर्चस
६८	खालून ४ थी	बीजगणितातल्या सारखेच	बीजगणितातल्यासारखेच
७४	१	तुलन	तुलना
७५	१८	चित्राच	चित्राचे
७५	शेवटची	अभाब	अभाव
७६	१९	अनाकलनीय	अनाकलनीय
११५	१८	Set होते	Set होतें,
१२०	३ व ४	Multidyvibrator	Multivibrator
१२१	खालून १६ वी	त्य	त्या
१२२	शेवटची	जटला	जुटला
१२४	१५	रोधक धारक	रोधक, धारक
१४१	खालून दुसरी	गणिती कृतीच्या	गणिती इ. कृतीच्या

पृ.	ओळ	अशुद्ध	शुद्ध
१६१	पृष्ठमथळा	संगणकाचा स्मृतिसंग्रह	निवेशन व उत्पतन यंत्रणा
१६२	१०	वक्यप्रयोगांना	वाक्यप्रयोगांना
१८०	४	असलेस्या	असलेल्या
१८३	२०	वकल्पिक	वैकल्पिक
१८७	१२	सहजतेन	सहजतेने
१९१	खालून ११ वी	विज्ञानशाशाखेतील	विज्ञानशाखेतील



प्रकरण : १

संगणकाचे प्रकार

समकृती संगणक (Analogue Computer).

अंकानुसारी किंवा अंकीय संगणक (Digital Computer).

मिश्रगुणी किंवा उभयान्वयी संगणक (Hybrid Computer).

सुरुवातीचे लेखकाचे निवेदन ज्यांनी वाचले नसेल, त्यांना संगणकाचे (म्हणजेच गणकयंत्राचे, Computer चे) वेगवेगळे प्रकार असतात हे विधान अनपेक्षित वाटेल. पण हे प्रथमच ध्यानी घ्यावे की, या साधनाचे वर उल्लेखिलेले तीन मुख्य प्रकार असतात, व त्यांतील अंकीय संगणक (Digital Computer) हा प्रस्तुत पुस्तकाचा वर्ण्यविषय आहे. मात्र हे तीन प्रकार एकमेकांपासून कोणत्या बाबतीत वेगळे आहेत हे जाणून घेणे आवश्यक आहे. या प्रकरणात ही तुलनात्मक चर्चा केली आहे.

संगणकाचा प्रकार कोणताही असला तरी ' त्याला घातलेले गणित तो विजेच्या साह्याने सोडवितो ' हे सत्य आहे. या विधानातून मग अशी अपेक्षा निघते की, त्याला गणित घालण्याची किंवा सांगण्याची क्रियाही विजेच्याच माध्यमाने झाली पाहिजे व असे करताना, संबंधित गणितात जी कोणती परिमाणे (magnitudes) आलेली असतील, त्यांच्या कमी-अधिकपणाबरोबर विजेचा कमी-अधिकपणा तंतोतंत संभाळला पाहिजे. यातून पुढे असा प्रश्न निघतो की, विजेच्या कोणत्या गुणधर्माची या कामी योजना करावी, की ज्यामध्ये असा सुनिश्चित कमी-अधिकपणा निर्मिता व संभाळता येतो ?

वीजवर्चस (electrical voltage), वीजप्रवाह (electrical current) व विजेच्या या गुणधर्मांचा उपयोग होत असतानाचे कालखंड इ. परिमाणे या बाबतीत लागू होतात व त्यांच्या इष्टानिष्टतेची सविस्तर चर्चा पुस्तकात होणार आहे. पण या प्रश्नांच्याही आधी, अधिक प्राथमिक स्वरूपाचा एक प्रश्न उद्‌भवतो की, या आणि इतर परिमाणांचा कमी-अधिकपणा व्यक्त करण्याच्या किती पद्धती आपण नित्याच्या व्यवहारात वापरतो ? या प्रश्नाचे उत्तर असे आढळेल की, दोन भिन्न पद्धतींनी किंवा प्रकारांनी आपण कमी-अधिकपणा व्यक्त करतो. एका प्रकारात मोघम, तुलनात्मक पद्धतीने हे काम होते, तर दुसऱ्यात निश्चित आकडेवारीचा उपयोग असतो.

निश्चित आकडेवारीने व्यक्त होणाऱ्या परिमाणांची उदाहरणे देण्याची फारशी जरूरी नाही. ४५-४६ अंश तपमानाचे पाणी, किंवा ४० कँडल पावरच्या दिव्याचा

प्रकाश या विधानातील तपमान आणि तेजस्विता यांची परिमाणे असंदिग्धपणे कळतात. पण याच्याऐवजी, अनेकदा, पहिल्या उदाहरणातील आंघोळीच्या पाण्याच्या बाबतीत 'बोट न बुडविता येण्याइतके कढत-जाळ' – 'कढत' – 'बेताचे ऊन' – 'कोमट' – 'गारढोण' अशा मोघम विशेषणांनी आपण पाण्याच्या तपमानातील कमी-अधिकपणा व्यक्त करतो. तसेच, संध्याकाळी (व्होल्टेज कमी झाल्याने) घरातील दिव्याचा प्रकाश 'मंद, चिमणीसारखा' होतो, रात्री अकराच्या पुढे त्याच दिव्याचा प्रकाश 'लख्ख' पडतो, तर आकाशातील विद्युल्लतेचे तेज 'डोळे दिपविणारे' असल्याचे सांगितले जाते. या मोघम, तुलनात्मक विधानांनी संबंधित परिमाणांचा कमी-जास्तपणा दाखविण्याचे काम समाधानकारकपणे होते यात संशय नाही. त्यात मतभेदाचाही फारसा संभव नसतो; पण तो कमी-जास्तपणा ध्यानी घेऊन त्याबाबतचे एखादे गणित करणे मात्र शक्य नसते! आणि याचे कारण उघड आहे; ते म्हणजे, या बाबतीत त्या त्या घटनेतील परिमाणांना निश्चित व प्रमाणबद्ध मूल्ये दिलेली नसतात.

अशा परिस्थितीत, एका किंवा अनेक संबंधित बाबींतील परिमाणांचे—ती सतत बदलती असली तरीही—योग्य रीतीने मूल्यांकन करून त्यांच्या विषयीचे इष्ट ते गणित लगोलग सोडवून देणारा संगणकाचा एक प्रकार आहे; त्याला **समकृती संगणक** (Analogue Computer) म्हणतात. याच्या उलट, निश्चित मूल्ये, म्हणजे त्यांच्या संख्या, अंक इ. पुरविल्यानंतर त्यांचे इष्ट ते गणित करून देणारा संगणकाचा दुसरा प्रकार आहे; त्याला **अंकीय संगणक** (Digital Computer) म्हणतात. आणि या दोन्ही प्रकारांतील गुणावगुणांनी साधित किंवा मिश्रित असा **मिश्रगुणी संगणक** (Hybrid Computer) म्हणून आणखी एक प्रकार असतो. हे स्थूल वर्गीकरण झाले. पुढील उदाहरणाने वरील प्रकारांची वैशिष्ट्ये व साम्य-भेद ध्यानी येतील.

उदाहरण असे आहे :–नळाच्या पाण्याला दाब पुरेसा असला म्हणजे नळातून अंगठ्याच्या जाडीची धार पडते, दाब कमी होत गेल्यास बोटासारखी, नंतर करंगळी-सारखी व अखेर बारीक सुतळीसारखी पाण्याची धार पडते. * अनेकदा या मोघम परिमाणांनी आपण पाणीपुरवठ्याचे प्रमाण किंवा परिमाण व्यक्त करतो. नळाखाली दर मिनिटाला किंवा सेकंदाला वेगवेगळे भांडे धरून व त्यातील पाणी मापून, केवढी धार असताना प्रतिमिनिटाला किती लिटर किंवा मिलिलिटर पाणी वाहते हे काढता येईल व निश्चित आकड्यांनी ते व्यक्त करता येईल, हे खरे. अशी निश्चित अभिव्यक्ती त्या त्या मोघम प्रमाणाच्या मागे अध्याहृत आहे, असेही म्हणता येईल. पण प्रत्यक्षात आपण उपरोक्त 'मापीव', तुलनात्मक' परिमाणांचा उपयोग करतो हेही खरे! तेव्हा अशी मापीव परिमाणे दिली असली तर त्यांचे गणित कसे करायचे ते आधी पाहू.

---

* जलप्रवाहशास्त्रासंबंधीचे सर्व सिद्धान्त येथे लक्षात घेतले आहेत असे नाही. उदाहरणाच्या सोयीकरता तसे केले आहे.

या उदाहरणात पाण्याची धार क्रमाने घटत गेल्याचे आपण धरले. यात भर म्हणून आणखी असे समजता येईल की, ज्या टाकीला हा नळ जोडलेला आहे, त्या टाकीत दुसरा नळ कमीअधिक जोराने पाणी भरतही आहे; यामुळे टाकीतील पाण्याची उंची व तीनुसार टाकीतून बाहेर पडणाऱ्या पाण्याचे प्रमाण अर्थातच बदलत राहील. आता प्रश्न असा आहे की, अशा परिस्थितीत विशिष्ट वेळात टाकीतून किती पाणी बाहेर पडेल याचे गणित कसे करायचे ? येथे उदाहरणाच्या सोयीकरता असे समजू या की, बाहेर जाणाऱ्या पाण्याचा, ते नळातून वाहात असतानाचा वेग बिनचूक मोजण्याचे एक साधन आपल्यापाशी उपलब्ध आहे. हा वेग ज्या प्रमाणात जास्त-कमी होईल त्या प्रमाणात ठराविक वेळात टाकीतून जास्त-कमी पाणी बाहेर पडेल हे उघड आहे. गणित सोडविण्याचे सूत्र मग असे निघते :—

$$\begin{matrix}\text{विशिष्ट कालात}\\ \text{वाहणारे पाणी}\\ (\text{लिटर})\end{matrix} = \frac{\begin{matrix}\text{वाहणाऱ्या पाण्याच्या छेदाचे}\\ \text{क्षेत्रफळ (चौ. सें. मी.)}\end{matrix} \times \begin{matrix}\text{प्रवाहाचा वेग}\\ \text{(सें.मी./सेकंद)}\end{matrix} \times \begin{matrix}\text{प्रयोगाचा काल}\\ \text{(से., मि., तास)}\end{matrix}}{१०००^{*}}$$

हे सूत्रात्मक उत्तर समजण्यास सोपे आहे. त्याच्या अंशातील पहिले पद ज्ञात व कायम आहे, तिसरे पद दिलेले आहे, दुसरे तेवढे बदलणारे आहे. या पदाचे मूल्य एक मिनिटभर किंवा एक सेकंदभरही स्थिर राहात नसेल, तर असा एक सूक्ष्मातिसूक्ष्म (infinitesimally small) कालखंड विचारात घ्यायचा की, ज्या कालखंडात प्रवाहाच्या वेगात बदल होत नाही असे म्हणता येते. नंतर, 'सांगितलेल्या विशिष्ट कालाचे वरील स्वरूपाचे किती सूक्ष्म कालखंड होतात ते काढायचे, त्या प्रत्येकात किती पाणी वाहिले असणार ते काढायचे व त्या सर्व पाण्याची (सूक्ष्म जलराशींची) बेरीज करून प्रयोगकाळात एकंदर पाणी किती वाहिले असणार ते काढायचे' अशी कृती करावी लागते.

अशा तऱ्हेने सूक्ष्मातिसूक्ष्म खंडाची बेरीज करून सिद्ध होणाऱ्या अखंड (Integral) वस्तूचे मूल्य काढणे ही एक क्रिया झाली. याच्या उलट प्रकारचे गणितही असते, की ज्यात अखंड वस्तूच्या, परिस्थितिनुरूप होणाऱ्या असंख्य सूक्ष्म खंडांची मूल्ये काढायची असतात. गणितशास्त्रात या क्रियांना अनुक्रमे **संकलन** (Integration) व **विकलन** (Differentiation) म्हणतात. **कलनशास्त्र** (Calculus) या गणितशास्त्रातील एका शाखेचे हे दोन भाग आहेत.

आता, हा प्रयोग चालू असतानाचे क्षणोक्षणीचे–म्हणजे त्या प्रत्येक सूक्ष्म कालखंडाचे–जलप्रवाहाच्या वेगाचे आकडे जरी उपलब्ध झाले तरी त्यांवरून वरील सूत्रान्वये गणित करून एकंदर वाहिलेल्या पाण्याचे मूल्य काढणे हे काम कागदावर करायचे म्हटले

---

* १००० घन सें. मी. व १ लिटर या दोन मापांत सूक्ष्म फरक आहे; तो येथे विचारात घेण्याची जरूरी नाही.

तर पट्टीच्या गणितज्ञालाही फार वेळ लागेल. पण संगणक हे काम कल्पनातीत त्वरेने पार पाडतो. किंबहुना, ज्या विशिष्ट वेळात पाणी किती वाहते याचे उत्तर काढायचे असेल, तो वेळ संपताच संगणकाचे उत्तरही तयार असते! चमत्कार वाटावा अशी ही गोष्ट आहे; पण हीच या साधनाच्या कर्तृत्वशक्तीची साक्ष आहे.

येथे फक्त एकाच बदलत्या गुणविशेषाचे–जलवेगाचे–उदाहरण घेतले आहे, पण अनेक प्रयोगांत किंवा घटनांत अशा अनेक गुणविशेषांची (Physical Properties ची) मूल्ये बदलत असतात, व हे बदल परस्परावलंबीही असतात. यांची उदाहरणे परिचित आहेत–एखाद्या विमानाचे किंवा रॉकेटचे उड्डाण चालू असता, त्यांमधील इंधनाच्या पुरवठ्याचे प्रमाण, त्यांच्या इंजिनांतील वायूंचे तपमान, दाब व वायूंचे वेग, तसेच विमानाचे किंवा रॉकेटचे वेग व दिशा, हवेच्या विरोधाचे प्रमाण इ. इ. गुणविशेष ध्यानी घ्यावे. आता या सर्वांची बदलती परिमाणे विचारात घेऊन, त्यासंबंधीचे काही गणित करायचे असेल तर ते किती अवघड असेल याची कल्पना करावी. पण संगणक ते तत्काल सोडवितो, म्हणजे त्याला गणित घालण्याची क्रिया चालू असतानाच, त्याची ते सोडविण्याची क्रियाही चालू असते !

पण एवढेच नव्हे. या प्रकारचा संगणक आणखीही काही करू शकतो. संबंधित घटना किंवा प्रयोग अमुक एका तऱ्हेनेच प्रगत होत जावा व अंती त्याचे फलित अमुक स्वरूपाचे असावे असे इच्छित नियंत्रणही तो प्रयोगावर ठेवू शकतो! थोडक्यात, तो **प्रक्रिया-नियंत्रण** (process control) करू शकतो!

हे ज्या योजनेने साध्य होते तीमधील अत्यावश्यक गोष्टी पुढीलप्रमाणे असतात : संबंधित सर्व गुणविशेषांच्या समप्रमाणात वीजवर्चसे (electrical voltages) निर्माण करणारी साधने प्रयोगात उपयोजिलेली असतात. (या साधनांना ट्रॅन्स्डयूसर–Transducers म्हणतात). या वर्चसांची मग गणितसूचित रीतीने देवघेव करणाऱ्या व परिणामी निघणाऱ्या वर्चसांवरून परत गणिताचे उत्तर किंवा उत्तरे काढून देणाऱ्या गुंतागुंतीच्या वीजसरण्या (electrical circuits) संगणकाच्या अंतर्भागात असतात. प्रयोगाच्या प्रगतीच्या अपेक्षेनुसारच वीजसरण्यांचे कार्य चालावे अशी योजना असते. पण काहीही कारणांमुळे नियोजित प्रगतीत दोष उत्पन्न झाला तर लगेच त्याचे निरसन घडविणारा वीजसंदेश प्रयोगाच्या संबंधित क्षेत्रात पोचतो व तेथे इष्ट त्या यांत्रिक हालचाली वा बदल घडून प्रगतीत डोकावू पाहणारी चूक तत्काल दुरुस्त होते.

प्रयोगातील संबंधित गुणविशेषांच्या बदलत्या मूल्यांच्या समप्रमाणात बदलणाऱ्या वीजवर्चसांच्या आधारावर, समस्वरूप रीतीने (analogously) व समकाली (at the same time, in real time) कृती करणाऱ्या या प्रकारच्या संगणकाला ओघानेच **समकृती संगणक** (Analogue Computer) म्हणणे यथार्थ ठरते.

आता निश्चित संख्यात्मक, अंकात्मक परिमाणांचे गणित सोडविणाऱ्या संगणकाच्या दुसऱ्या प्रकाराची माहिती करून घेऊ. तुलना समर्पक व्हावी म्हणून नदीचे जलप्रवाहाचेच

उदाहरण घेऊ: पण यावेळी फरक असा करायचा की, नळाची तोटी अगदी किलकिली उघडी ठेवायची, जेणेकरून, तोटीतून बारीकसुद्धा सतत (continuous) प्रवाह न वाहता टप् टप् असे पाण्याचे थेंब पडत राहतील, म्हणजे पाणी तुटक (discrete) जलखंडांनी मिळत राहील. अशा परिस्थितीत पडणाऱ्या प्रत्येक थेंबाचे आकारमान सारखे (स्थिरमूल्य) असते. (पाण्याच्या पृष्ठताणाच्या गुणधर्मामुळे असे घडते, ही गोष्ट गणित सोडविण्याच्या दृष्टीने आपोआपच सोयीची झाली). त्यामुळे, थेंबाथेंबाने वाढत जाणाऱ्या पाण्याच्या साठ्याचे आकारमान हे एकेका अंकाने वाढत जाणाऱ्या संख्येसारखे असू शकते !

सुरुवातीच्या जलधारेच्या उदाहरणातील परिमाणे मोजमापांनी (by measuring) व्यक्त झाली होती, की ज्यांच्यासंबंधीचे गणित समकृती संगणक सोडवू शकतो. (मात्र गणितातील परिमाणे या उदाहरणातल्याप्रमाणे ' मापीव ' असलीच पाहिजेत असे काही या संगणकाचे व्यवच्छेदक लक्षण नाही. त्यांची मूल्ये अध्याहृत असतात एवढेच खरे). पण उदाहरणाच्या दुसऱ्या भागातील परिमाणे–थेंबांच्या संख्या इ. मात्र ' मोजून ', 'गणनाने' (by counting) व्यक्त करता येतात व त्यांच्यासंबंधीचे गणित सोडविणारा जो अंकीय संगणक, त्याचे गणना (counting) हे व्यवच्छेदक लक्षण होऊ शकते.* तसेच, आता किती वेळात किती पाणी मिळेल यासंबंधीचे गणित साध्या अंकगणिताने सुटू शकेल; संकलन, विकलन इ. अवघड गणिती कृतींची जरूर पडणार नाही.

या वर्णनावरून निघणारा एक निष्कर्ष ध्यानी आला असेल की, या दुसऱ्या प्रकारच्या संगणकाला गणित घालताना, ते, विजेचा सतत प्रवाह न पाठविता ' वीज-प्रवाहाचे आखूड नि तुटक तुकडे ' अर्थात् ' विजेचे स्पंद ' (electrical pulses) पाठवून घातले जात असणार. या स्पंदांच्या वीजवर्चसाचा प्रश्न आता (तितकासा) महत्त्वाचा नसतो. योग्य व सोयीचे वर्चस वापरले जाते. दुसरी गोष्ट, लांबी, क्षेत्रफळ,

---

* उपरोक्त दोन प्रकारच्या संगणकांकडून जी गणिते, समस्या सोडवून घेता येतात त्यांतील परिमाणांचे स्वरूप, पहिल्याच्या बाबतीत ' मापीव ' व ' सतत ' तर दुसऱ्याच्या बाबतीत ' मोजीव ' आणि अर्थात ' तुटक ' असे वेगळे असते हे दर्शविण्या-करता नळातून वाहणाऱ्या पाण्याचे उदाहरण घेतले व ' जलधारा ' व ' जलबिंदू ' ही त्याची दोन स्वरूपे विचारात घेतली. सर्व जलबिंदू सारख्याच आकारमानाचे असतात, या आपाततः लाभलेल्या सत्य परिस्थितीमुळे उदाहरणाला अधिकच समर्पकता आली. पण अंकीय संगणकाच्या बाबतीत असा सारखेपणा आवश्यक असतोच असे नाही. एखाद्या राशीतले नग (उदा. हाताची बोटे) मोजताना आपण नगांनगांमधील लहान-मोठेपणा विचारात घेत नाही; त्यांची संख्या ' मोजणे ' एवढाच हेतू असतो. तसले निव्वळ ' मोजणे ', म्हणजेच ' गणना ' (counting) हे अंकीय संगणकाच्या कार्य-पद्धतीचे लक्षण असल्याचे येथे सांगावयाचे आहे.

वेग, तपमान, दाब इ. कोणत्याही गुणविशेषांची मूल्ये त्याला पुरविल्यास त्यांचे इष्ट गणित तो सोडवितोच; पण शुद्ध संख्यांचे, अंकांचे गणितही या प्रकारचा संगणक स्वीकारतो व सोडवतो.

सोडवायच्या उदाहरणातल्या संख्यांचे (पर्यायाने अंकांचे) प्रतिनिधित्व संगणकात पाठविल्या जाणाऱ्या वीजस्पंदांनी विशिष्ट सूत्रान्वये साधले जाते, व संगणकाच्या अंतर्भागात या स्पंदांची वाहतूक असंख्य सरण्यांमधून होऊन व बेरीज-वजाबाकीच्या साध्या गणिती क्रिया पार पडून उदाहरण सुटते. या कारणामुळे या प्रकारच्या संगणकाला **अंकानुसारी संगणक** किंवा संक्षेपाने **अंकीय संगणक** म्हणणे यथार्थ ठरते. इंग्रजीत त्याला Digital Computer म्हणतात.

उदाहरण सोडवताना आपण मधल्यामधल्या टप्प्यावरची उत्तरे बाजूला मांडून ठेवतो, किंवा ध्यानी ठेवतो. अंकीय संगणकाला तसेच काही करावे लागते व याकरिता सोय म्हणून तेथे ' स्मृतिविभाग ' किंवा ' स्मृतिसंग्रह ' (memory) नावाची व्यवस्था असते. उदाहरण कसे, कोणत्या क्रमाने सोडवायचे, मधल्या-मधल्या टप्प्यांवर कोण-कोणत्या गणिती क्रिया करायच्या यासंबंधीच्या तपशीलवार सूचना, त्यांची काळजीपूर्वक क्रमवारी लावून संगणकाला आधी पोचवाव्या लागतात. या सूचनाही स्मृतिविभागात उतरून घेतल्या जातात.

समकृती संगणकाच्या बाबतीत स्मृतिविभागाचा प्रश्नच उद्‌भवत नाही. तेथे ठराविक गणिती समस्या त्याला सांगितली जात असतानाच, ठराविक नियोजित गणिती क्रिया होत राहतात व त्या ठराविक समस्येचे ठराविक तऱ्हेने उत्तर निघते. थोडक्यात, समकृती संगणक बहुधा विशिष्ट-कामी-उपयोगी-असणारे असे (म्हणजे single-purpose) असतात. त्यांमधील वीजसरण्या विशिष्ट गणिती कृती करणाऱ्या असतात. पण त्यांची संख्या, व्याप इ. तुलनेने कमी असते. परिणामतः समकृती संगणकाची किंमत तुलनेने कमी असते.

याच्या उलट, अंकानुसारी संगणकातील वीजसरण्या व त्यांमध्ये बसविलेले वीज-कीय घटक (electronic components) यांची विविधता बेताची असते, पण त्यांची संख्या लक्ष-दशलक्षांनी मोजावी इतकी प्रचंड असते व त्यांकडून करून घेता येणारे काम विविधस्वरूपी असू शकते. हे संगणक (१) प्रचंड व क्लिष्ट गणिती समस्या सोडवितात त्याचप्रमाणे (२) विमा कंपन्यांसारख्या कार्यालयांच्या प्रशासन–व्यवस्थे-तील सोपे पण असंख्य हिशेब त्वरित सोडवितात. यांची किंमत समकृती संगणकांच्या किमतीच्या तुलनेने अर्थातच अधिक असते.

या दोन प्रकारांची आपापली कामे बिनचूकपणे करण्याची क्षमता किती असते हे पाहणे उद्‌बोधक आहे. समकृती संगणकाच्या बाबतीत संबंधित गुणविशेषांच्या मोज-मापांत किंचित् चूक राहू शकते, त्यांचे गणित सोडविणाऱ्या वीजसरण्यांच्या कामातही थोडी कसर राहू शकते व परिणामतः उत्तरात ५% (क्वचित १०%) पर्यंत चूक

संभवते. ०.२% किंवा ०.१% चूक राहिली तर ती चूक नव्हेच, असे समजले जाते. अंकीय संगणकाच्या बाबतीत, गणित निःशेष सुटणारे असेल तर प्रश्नच नाही, उत्तरात चूक शून्य असते. पण उत्तराचे स्वरूप न संपणाऱ्या भागाकारासारखे असले, तर किती दशांशस्थानांपर्यंत उत्तर काढायचे ते आपल्या इच्छेवर असते व त्या प्रमाणात बिनचूकपणा आपल्याला लाभतो.

मिश्रगुणी किंवा उभयान्वयी संगणक. दोन प्रकारच्या संगणकांच्या कार्यपद्धतींची वैशिष्ट्ये वर सांगितली. पण यावरून असा समज होऊ नये की, एका प्रकारच्या संगणकाच्या साह्याने होणारे काम दुसऱ्या प्रकारच्या संगणकाच्या साह्याने होऊच शकणार नाही. तसे करताना सुलभता कमी राहील एवढेच. मुख्य म्हणजे, हे करताना गणित घालण्याच्या पद्धतीत इष्ट तो बदल करावा लागेल.

सतत व अखंड रीतीने (Continuously) परिमाणे बदलत असणाऱ्या एखाद्या प्रायोगिक घटनेचे गणित असेल, किंवा, समजा, एखाद्या आलेखातील असंख्य बिंदूंच्या स्थानांना अनुलक्षून असलेले गणित असेल तर, त्यातील जवळजवळचे, शक्य तितके कमी अंतर (किंवा कालांतर) असलेले बिंदू / प्रसंग ' निवडून,' ' टिपून, ' त्यांची अंकात्मक परिमाणे दर्शविणारे वीजकीय संदेश त्वरेने पण तुटकपणे अंकीय संगणकाला पोचवून ते गणित सोडवून घेता येईल. ते गणित तत्काल (in real time) सुटणे हेही घडवता येईल. ' टिपण्याच्या ' या कृतीला sampling म्हणतात. ही कृती संख्येने जितक्या अधिक वेळा होईल तितकी, गणितातील त्या संतत क्रियेची, अथवा अखंड रेषेची अभिव्यक्ती उत्तम होईल हे उघड आहे.

संतत स्वरूपाच्या वीजप्रवाहाचे तुटक वीज-स्पंदात रूपांतर करणाऱ्या ज्या विशेष यंत्रणा या कामी उपयोजिल्या जातात त्यांना Analogue-to-Digital Converters असे सार्थ नाव आहे. यांच्या साह्याने, समकृती संगणक करू शकणारे काम अंकीय संगणकाकडून करून घेता येते.

याच्या उलट परिस्थितीही असू शकते. अनेक बिंदू क्रमाने आणि जवळजवळ मांडून ज्याप्रमाणे अखंड रेषेचे स्वरूप दर्शविता येते, त्याप्रमाणे, संबंधित गणितातील अंकात्मक माहिती (data) काही एक संततता दर्शविणारी असेल तर, Digital-to-Analogue Converter नामक विशेष यंत्रणेच्या साह्याने त्या माहितीच्या समप्रमाण व अखंड स्वरूपाचे वीजसंदेश (electrical signals) निर्माण करून व समकृती संगणकाला ते पोचवून इच्छित गणित सुटू शकते.

या माहितीचा सारांश असा की, दोन्ही प्रकारच्या संगणकांतील फायदेशीर वैशिष्ट्यांचा अंतर्भाव केलेले **मिश्रगुणी किंवा उभयान्वयी** (Hybrid) संगणक असू शकतात. तसे ते सिद्ध झाले आहेत. त्यांमध्ये अर्थातच दोन्ही कार्यपद्धतींचा इष्ट तसा उपयोग केलेला असतो. एका पद्धतीने व्यक्त झालेल्या परिमाणांचे दुसऱ्या पद्धतीत परिवर्तन करणाऱ्या वर उल्लेखिलेल्या **परिवर्तन यंत्रणा** (Converters) तेथे

आवश्यकतेने बसविलेल्या असतात व आणखीही विशेष व्यवस्था असतात. मिश्रगुणी संगणकांत दोन्ही प्रकारांतील फायद्यांच्या कलमांबरोबरच त्यांच्या काही गैरसोयीही येतात. पण त्या कमीत कमी असाव्यात या दृष्टीने सतत संशोधन व सुधारणा चालू असतात.

आता यापुढील प्रकरणांतून केवळ अंकीय संगणकाची माहिती सांगितली आहे.

प्रकरण : २

अंकीय संगणकाच्या रचनेचा व कार्यपद्धतीचा आराखडा

पाच प्रमुख उपांगे: त्यांच्या कार्यपद्धती व परस्पर-संबंध.

संगणकाने करावयाच्या कामाचे प्राज्ञापन (Programming).

अंकीय संगणकाविषयीचे ज्ञान मिळविताना, आपणास अद्याप अवगत नसलेल्या अनेक शास्त्रीय सत्यांचा नि सिद्धांतांचा परिचय करून घ्यावा लागणार आहे. ही सत्ये विज्ञानाच्या वेगवेगळ्या शाखांत विखुरलेली आहेत पण परस्पर-संबंधित आहेत. नुसते गणितशास्त्र विचारात घेऊ,––आपल्याला ठाऊक असलेल्या गणितापेक्षा फारसे अवघड नसलेले पण **नवीन व मनोरंजक असे गणित** (अंकगणित, बीजगणित) आपल्याला शिकावे लागणार आहे. **वीजवहालीचे शास्त्र** (current electricity) व **कर्षुकविज्ञान** (magnetism) यांचे अल्प ज्ञान आपणांस आहे, पण आणखी काही नवीन माहिती प्रस्तुत अभ्यासात कळेल. **वीजकीयशास्त्र** (electronics) ही तर आपणांस जवळजवळ पूर्णतः अपरिचित शास्त्र-शाखा आहे. त्या शाखेची अगदी कामचलाऊ (अत्यावश्यक तेवढीच) माहिती करून घेणे हा सुद्धा एक स्वतंत्र व महत्त्वाचा अभ्यास ठरणार आहे; कारण, वस्तुस्थिती अशी आहे की संगणकाचे कार्य सर्वाधिक या शास्त्रशाखेवर आधारित आहे! आणखी एका अनपेक्षित शास्त्रशाखेचा उल्लेख केला पाहिजे. ती म्हणजे **तर्कविज्ञान**. तर्काचा येथे काय संबंध असावा हे थोडा विचार केल्यास ध्यानी येईल. एखादे कोडे सोडविताना आपण ' हे असे आहे म्हणून ते तसे असणे शक्य नाही ' किंवा, ' कोड्यात सांगितलेली वस्तुस्थिती कशीही असली तरी कोड्याच्या उत्तराचे जास्तीत जास्त अमुक इतकेच पर्याय संभवतात ', अशासारखी काही तर्कसंगती लावतो व तिला जरूर त्या सोप्या अंकगणिताची जोड देऊन कोडे सोडवितो. साधारणतः याच धाटीवर तर्कविज्ञानाच्या प्राथमिक सिद्धांतांचा संगणकाच्या कार्यपद्धतीत जो उपयोग केलेला असतो तो आपणास समजून घ्यावा लागेल.

अशा परिस्थितीत, या शास्त्रीय सत्यांची व त्यांच्या परस्परसंबंधांची चर्चा सुरू केली किंवा संगणकाच्या एखाद्या उपांगाच्या रचनेची, कृतीची माहिती सुरू केली तर तिचा समग्र विषयाशी संदर्भ संभाळणे हे वृथा अवघड होईल. म्हणून, संगणकाच्या रचनेचा व कार्यपद्धतीचा एक अगदी स्थूल आराखडा आधी मांडणे इष्ट ठरते. त्यामुळे

मग वेगवेगळ्या विषय-उपविषयांचे विवेचन जसजसे होत जाईल तसतसा या आराखड्यातील तपशील भरला जाऊन संगणकाविषयीच्या माहितीचे एक पूर्ण चित्र वाचकाला उपलब्ध होईल. तेव्हा असा आराखडा या प्रकरणात मांडला आहे.

गेल्या प्रकरणात, ' अंकात्मक, संख्यात्मक गणित संगणकाच्या सुपूर्द केल्यावर सुटते ' या गोष्टीचा, या साधनांत होणाऱ्या वीजस्पंदांच्या वाहतुकीशी व देवघेवीशी संबंध दर्शविला आहे. या बाबतीतली कल्पना अधिक स्पष्ट होण्यास पुढील तुलना समर्पक ठरते.––संगणकाचे कार्य हे मोठ्या शहरातील टेलिफोन व्यवस्था किंवा प्राण्याच्या शरीरातील ज्ञानतंतु-संस्था (nerve system) यांसारखे असते. तेथे अनेक संदेश शहराच्या वा शरीराच्या विविध ठिकाणांकडून केंद्राकडे व पुनः इष्ट त्या ठिकाणांकडे पाठविले जात असतात व शहराचे तसेच शरीराचे नित्यजीवन सुरळित चालू राहून इष्ट ती कार्ये पार पडत असतात.

या संदेश-व्यवस्थांची जशी काही प्रमुख उपांगे असतात तशीच संगणकाची पाच प्रमुख उपांगे असतात. पुढे प्रत्येक उपांगाची त्रोटक माहिती सांगितली आहे.

अंकगणित विभाग (Arithmetic Unit) : याला खरे तर आकडेमोडीचा विभाग म्हणता येईल. नियोजित गणित संगणकाला ' घातले कसे जाते ? ', तो ' ते लिहून कसे घेतो ? ', ' गणित सोडवितो म्हणजे प्रत्यक्ष काय करतो ? ', ' निघालेले उत्तर संचालक व्यक्तीला परत कसे करतो ? ' व ' या चार क्रिया चालू असताना ' त्या ठीक चालू आहेत हे पाहणारी काही नियंत्रण-व्यवस्था तेथे असते का ? व ती कोणत्या स्वरूपाची असते ? ' या पाच प्रश्नांच्या उत्तरांची कृती करणारी पाच प्रमुख उपांगे या साधनाची असतात. या प्रश्नांपैकी ' संगणक गणित सोडवितो कसे ? ' या प्रश्नाचे औत्सुक्य सर्वाधिक असणार. त्या प्रश्नाच्या उत्तराचे काम या ' अंकगणित विभागातर्फे ' होते. या विभागाच्या कामाची रूपरेषा अशी आहे : वेगवेगळ्या वीजवर्चसांची (electrical voltages ची) आणि अर्थात् त्यामुळे निर्माण होणाऱ्या वीजप्रवाहांची मूल्ये ही वेगवेगळ्या अंकांचे प्रतिनिधित्व करतात, असे संकेताने आधी ठरलेले असते. हे प्रवाह ज्यांतून वाहायचे अशी लाखो प्रवाहमंडले म्हणजेच वीजसरण्या (electrical circuits) संगणकाच्या अंतर्भागात योग्य रीतीने जोडलेल्या सिद्ध असतात. (या सरण्या केवळ या विभागातच असतात असे नव्हे तर सर्व विभागांत पसरलेल्या असतात.) या सरण्यांमध्ये रोधक (resistors), वीजधारक (capacitors) हे परिचित असे प्राथमिक घटक (components) तसेच त्यांच्या इष्ट जोडण्यांनी सिद्ध होणारे विवर्धक (amplifiers) इ. सिद्धघटक असतातच; पण विशेष म्हणजे, डायोड (diode), ट्रॅन्झिस्टर (transister) इ. नवसंशोधित वीजकीय घटकांचा उपयोग तेथे लाखांच्या संख्येने केलेला असतो. सुरुवातीच्या काही वर्षांत या वीजकीय घटकांच्या ऐवजी, रेडिओ-सेटमध्ये असतात तसे थर्मिऑनिक व्हाल्व्ह संगणकांमध्ये वापरीत.

पुढे, संगणकाला घातलेल्या गणितातील संख्यांची (पर्यायाने त्यांतील अंकांची)

परस्परांशी जी देवघेव व्हायची असते, म्हणजेच ज्या गणिती क्रिया गणिताच्या व तर्काच्या नियमानुसार घडावयाच्या असतात, त्या क्रिया, त्या अंकाचे प्रतिनिधित्व करणारे वीजप्रवाह कोठून कोठे वाहावेत, (का न वाहावेत) यावर अवलंबून असतात व हे प्रवाह योग्य त्याच मार्गांनी व योग्य त्या क्रमाने वाहावेत याचे नियंत्रण करणाऱ्या (उपरोक्त घटकांच्या जुळणीने बनविलेल्या) हजारो उपसरण्या या विभागात सिद्ध असतात. मग या सरण्यांच्या माध्यमाने समग्र गणित जसजसे टप्प्याटप्प्याने या विभागात आणून पोचविले जाते तसतसे ते सुटत जाते.

स्मरणकक्ष किंवा स्मृतिसंग्रह (Memory or Store) : आता, संचालक व्यक्तीने संगणकाला घातलेले गणित तो उतरवून कसे घेतो ? हा (वास्तविक क्रमाने आधी येणारा) प्रश्न उद्‌भवतो. गणित सुटताना होणाऱ्या आकडेमोडीचे लेखन काही ना काही रीतीने अंकगणित विभागात होते असे वर ध्वनित झाले आहे. पण अनेक संख्यांचा अंतर्भाव असलेले विस्तृत गणित, तसेच ते सोडविण्याच्या रीतीच्या तपशिलवार, क्रमवार असलेल्या सूचना या ' टिपून घेणे ' किंवा त्यांची नोंदणी करणे ही कृती या स्मृति-विभागात घडते. गणित सुटत असतानाची मधल्या-मधल्या टप्प्यांवरची उत्तरे, त्यांची पुनः गरज लागेपर्यंत याच विभागात लिहिली जातात.

या विभागाचे काम कसे चालते याचे विवेचन पुढे येणार आहे. तूर्त एवढे समजणे इष्ट होईल की—' सिनेमाच्या लांबच्या लांब फिल्मवरील असंख्य चित्रांपैकी विशिष्ट ठिकाणी चित्रित झालेले विशिष्ट चित्र, किंवा अमुक पुस्तकाच्या अमुक पानावर अमुक ठिकाणी मुद्रित झालेला अमुक एक मजकूर, किंवा टेपरेकॉर्डरच्या टेपवर अमुक ठिकाणी उपलब्ध असणारा अमुक आवाज या गोष्टी, जशा पुनः जरूर पडताच, नेमक्या त्याच व हमखास मिळाव्यात अशी शक्यता असते, तशाच काही रीतीने संगणकातील हा संग्रह रचलेला असतो; व गणित सोडविण्याच्या प्रक्रियेत आवश्यक असणारी व संग्रहात ज्ञात जागी आधी बसविली–नोंदली–गेलेली ती ती संख्या तत्काल उपलब्ध होते. टेपरेकॉर्डरच्या कार्यपद्धतीत विद्युत् प्रवाह व कर्बुकत्व (magnetic property) यांच्या परस्पर संबंधांचा उपयोग करून घेतलेला असतो, हे आपण जाणतो. प्रस्तुत स्मृतिसंग्रहाचे कार्य त्याच शास्त्रीय तत्त्वावर आधारित असते. क्वचित दुसऱ्या समतुल्य शास्त्रीय तत्त्वावर आधारित असलेले संग्रहही असतात.

निवेशन यंत्रणा व उत्पतन यंत्रणा : या दोन यंत्रणा किंवा उपांगे म्हणजे संगणक व तो वापरणारी व्यक्ती यांमधील संबंध संभाळणाऱ्या यंत्रणा होत. पहिलीच्या द्वारा गणित संगणकाच्या सुपूर्द केले जाते. प्रत्यक्षात ते संगणकाच्या अंतर्भागात सरकवले जाते म्हणून या क्रियेकरता ' निवेशन ' हा शब्द योग्य ठरतो. (नि+विश्=आत शिरणे; याचे प्रयोजक आत सरकवणे) इंग्रजीत या व्यवस्थेला Input Mechanism म्हणतात. दुसरीच्या द्वारा, संगणकाने काढलेले गणिताचे उत्तर संगणकाच्या बाहेर निघून चालक व्यक्तीला

प्राप्त होते. या यंत्रणेला (Output Mechanism ला) उत्पतन यंत्रणा म्हणणे रास्त ठरते. (उत् + पत् = बाहेर निघणे, to come out)* या दोन्ही यंत्रणांची कामे टप्प्या-टप्प्याने होतात.

निवेशन यंत्रणा : गणितातील किंवा कंपन्यांच्या व्यवस्थापनासंबंधीच्या हिशोबांतील संख्या तसेच गणित सोडविण्याची रीती इ. विषयीचा अंकात्मक मजकूर प्रथम सोयीच्या आकाराच्या कागदावर छिद्रित केला जातो. या कृतीला 'पंचिंग' म्हणतात. या कामाकरता शास्त्रीय क्लिष्ट गणिते सोडविणाऱ्या कॉम्प्युटरमध्ये बहुधा कागदाची सुमारे २ सें. मी. रुंदीची अखंड फीत (paper tape) वापरतात, तर व्यवस्थापनाचे सोपे पण असंख्य हिशोब सोडविणाऱ्या कॉम्प्युटरकरता प्रत्येक प्रकरणाचे (case चे) वेगळे कार्ड अशी पोस्टकार्डासारखी अनेक कार्डे वापरली जातात. पंचिंग मशीनचा दर्शनी भाग एखाद्या टाइपरायटरसारखा असतो, पण त्याची योग्य ती बटणे (keys) दाबल्याने, मशीनमधून सरकणाऱ्या टेपवर किंवा क्रमाने येणाऱ्या एकेका कार्डावर विशिष्ट ओळींत व विशिष्ट स्तंभात मजकुरातील अंकांच्या अनुसार छिद्रे पडतात ! म्हणजे येथे मजकूर मुद्रित होत नाही, तर छिद्रित होतो असे म्हणता येईल. अर्थात कोणत्या अंकाची निदर्शक अशी कोठे व किती छिद्रे पडावीत याविषयीचा संकेत आधीच प्रस्थापित असतो. पुढे, ही छिद्रित पट्टी (punch tape) संगणकाच्या बाहेरील रिळावरून उलगडत जाऊन आतील रिळावर गुंडाळली जात असता (किंवा छिद्रित कार्डे– punch cards– एकेक आत सरकविली जात असता) विशिष्ट ठिकाणच्या छिद्रांमुळे विशिष्ट विद्युत्-स्पंद निर्माण व्हावेत अशी योजना असते. या योजनेने परिणाम साधतो तो असा की, माणसाने आपल्या मनातले गणित आपल्या विशिष्ट सांकेतिक भाषेत संगणकास पोचविले व संगणकाने ते आपल्या स्वतःच्या भाषेत दाखल करून घेतले. बहुतेक संगणकांत छिद्रित टेपवरील मजकूर आत शिरल्यानंतर निवेशनाचा मधला टप्पा म्हणून तो टेप रेकॉर्डरमधल्यासारख्या कर्षुकीय (magnetic) टेपवर 'उतरून घेतला' जातो. हे परिवर्तन मध्यंतरच्या वीज-स्पंदामुळे शक्य होते हे सहज ध्यानी येईल. मग तो कर्षुकीय टेप छिद्रित कागदी टेपपेक्षा कितीतरी अधिक त्वरेने स्वतःजवळचा मजकूर प्रत्यक्ष संगणकाच्या स्वाधीन करतो व क्रमाने तो संगणकाच्या स्मृतिसंग्रहात अत्यंत व्यवस्थित रीतीने 'लिहून' घेतला जातो. येथे निवेशनाचे काम संपते.

---

* येथे या यंत्रणांची नावे म्हणून 'निवेशन', 'उत्पतन' ही नामे योजली आहेत Input, Output हे शब्द आपल्या विवेचनात 'आत शिरणारा किंवा शिरलेला' (वीजस्पंद) आणि 'बाहेर पडलेला किंवा पडणारा' (स्पंद) या अर्थी धातुसाधितांच्या रूपांत असंख्य वेळा येणार आहेत. तेथे Input करता 'निविष्ट' व Output करता 'उद्गत' हे यथार्थ सुटसुटीत धातुसाधित शब्द योजले आहेत. उद्गत व उत्पतित हे शब्द समानार्थक होत.

उत्पतन यंत्रणा (Output Mechanism) : या यंत्रणेचे कार्य सामान्यतः निवेशन यंत्रणेच्या उलट क्रमाने होते. सुटलेल्या गणिताची किंवा हिशेबांची उत्तरे चालक-व्यक्तीच्या स्वाधीन करण्याचे–उत्तर-वितरणाचे–काम संगणक या यंत्रणेने पार पाडतो. बहुधा उत्तर–रे संगणकात बसविलेल्या इलेक्ट्रिकल टाइपरायटरमधून टाइप होऊन बाहेर पडते–पडतात.

निवेशन व उत्पतन ही कामे संगणकाची सर्वात सावकाशीने घडणारी कामे होत. कारण ती विद्युतप्रवाहाच्या वेगावर नव्हे तर प्रत्यक्ष हालणाऱ्या भागांच्या (moving parts च्या) सीमित अशा त्वरेवर अवलंबून असतात. या यंत्रणांना संगणकाच्या अंगभूत यंत्रणा म्हणता येत नाही. त्या संगणकास निगडित असतात, त्याच्या परिसरात राहून त्यांचे कार्य चालते. याकारणे त्यांना ' निगडित यंत्रणा ' (Peripherals) म्हणतात.

नियंत्रण केंद्र (Control Unit) : वर उल्लेखिलेल्या चारी उपांगांचे कार्य व परस्पर-सहकार्य यांचे नियंत्रण संगणकातील नियंत्रण-विभागाकडून केले जाते. शरीरात मेंदूचे जे कार्य व महत्त्वाची कामगिरी असते ती संगणकातील या विभागाकडे असते असे म्हणता येईल. त्याचा सर्व उपांगांशी सतत संपर्क असतो व त्यांची कामे कोणत्या क्रमाने व्हावीत याचा निर्णय या विभागाकडून होतो. मेंदूबरोबरच हृदयाचेही काम या केंद्रावर सोपविलेले असते असे उपमेच्या भाषेत म्हणता येते.— आपल्या शरीरात असंख्य रक्त-वाहिन्या असल्या तरी त्यांचा गुंता तर होत नाहीच, पण त्यांतून अभिसरणाचे कार्य हृदयाच्या स्पंदांबरोबर सुरळितपणे चालू असते. येथे नियंत्रण केंद्रातही असे नियमितपणे स्पंद पावणारे एक घड्याळ (vibrator, clock) असते व त्याच्या स्पंदांच्या अनु-षंगाने नियोजित क्रमाने व नियोजित मार्गांनी वीजप्रवाह वाहतात आणि अंकांवर इष्ट त्या गणिती क्रिया घडतात.

ही झाली संगणकाच्या प्रमुख अशा पाच उपांगांची त्रोटक माहिती. पुढे १५ व्या प्रकरणात या उपांगांच्या कार्यांचे परस्परसंबंध दर्शविणारी आकृती दिली आहे ती पाहावी.

संगणकाने करावयाच्या कामाचे प्राज्ञापन (Programming). गणिताचे उत्तर प्राप्त होण्याच्या कामात निवेशन, उत्पतन या टप्प्यांपेक्षाही विलंब लावणारा आणखी एक टप्पा असतो. मात्र या टप्प्यांतील विलंबाचा दोष संगणकाकडे जात नाही. जात असलाच तर संगणकाचा उपयोग करून घेणाऱ्या गणितज्ञ व्यक्तीकडे तो जातो. तो टप्पा म्हणजे गणित सोडविताना क्रमाने लागणाऱ्या मोठ्या-लहान सर्व पायऱ्यांची तज्ञ व्यक्तीने आधी कागदावर करायची ती तपशीलवार आखणी. ही आखणी म्हणजे गणित सोड-विण्यासंबंधी क्रमवारीने मांडलेल्या व संगणकाने मानावयाच्या आज्ञाच होत ! याकारणे, अशा आखणीस प्राज्ञापन व ती करणाऱ्या व्यक्तीला प्राज्ञापक म्हणणे इष्ट ठरते. इंग्रजीत या शब्दांना Programme व Programmer असे अन्वर्थक शब्द आहेत. या आखणी-नुसार छिद्रित टेप इ. तयार झाल्यावर त्यांचे निवेशन इ. करण्याचे म्हणजे ' संगणक

चालविण्याचे ' काम करणारी संचालक व्यक्ती वेगळीच असते. ती व्यक्ती म्हणजे computer operator होय.

गणित सोडवायच्या रीतीसंबंधीच्या आज्ञा मोजक्या–शक्य तितक्या कमी–असाव्यात व त्यांची मांडणी सुलभ व्हावी ही अपेक्षा असते. पण त्याकरता संगणकाच्या अंतर्भागात असंख्य जादा सरण्या इ. बसविणे आवश्यक असते. ही गोष्ट फार खर्चाची असल्याने, सदाच शक्य असते असे नाही. त्यामुळे, प्राज्ञापक व्यक्तीला आपल्या मांडणीत शक्य तितका संक्षेप साधण्याकरता अनुभवाचा, कौशल्याचा उपयोग करावा लागतो. थोडक्यात, हे काम वाटते त्यापेक्षा बरेच अवघड असते. मात्र ते व्यवस्थित झाल्यावर व त्यानुसार पंचिंग, निवेशन इ. क्रिया पार पडल्यानंतर संगणक त्याला दिलेल्या आज्ञांची अम्मल-बजावणी तत्काल व बिनचूक करतो. परिणामी असे म्हणता येते की गणित सोडवायची युक्ती किंवा डोके माणसाचे पण त्यांत लागणारे आकडेमोडीचे जे अपार श्रम ते संगणकाचे अशी वाटणी होते.

प्रकरण : ३

संगणकाच्या अंकानुसारितेचे रहस्य

द्विमान पद्धतीची अनिवार्यता.

दशमान व द्विमान पद्धतींचे परस्पर संबंध.

त्या त्या पद्धतीनुसार संख्यांच्या मांडण्या.

गणितातील संख्यांचे (पर्यायाने त्यातील वेगवेगळ्या अंकांचे) प्रतिनिधित्व बीज-स्पंदांनी साधले जाते व त्याकरिता विशिष्ट सूत्रांचा उपयोग केला जातो, असे प्रकरण १ मध्ये सांगितले आहे. असे काहीतरी सूत्र किंवा संकेत या कामी योजावा लागणारच हे उघड आहे. नाहीतर, अशा सूत्राच्या अभावी, ' अमुक अब्ज, अमुक कोटी, अमुक लक्ष.......' अशी मोठी संख्या व्यक्त करण्याकरता त्या संख्येइतकेच म्हणजे ' अमुक अब्ज, अमुक कोटी........' इतके बीजस्पंद संगणकात पाठवावे लागले असते आणि संगणकाला त्यांची बिनचूक दखल घ्यावी लागली असती ! या कृतीला वेळ किती लागला असता, या एकाच गोष्टीचा विचार केला तरी हा मार्ग किती गैरसोयीचा आहे हे ध्यानी येईल. आणि इतके स्पंद (समजा अति त्वरेने पाठविणे शक्य झाले तरी, ते) बरोबर मोजायचे कसे ? नोंदायचे कसे ? हे पुढले महत्त्वाचे प्रश्न. एवंच संख्या व्यक्त करण्याची ' संख्येइतके स्पंद ' ही पद्धती विचारातही घ्यायला नको.

पण मोठ्या संख्येचा उल्लेख वर ज्या रीतीने किंवा पद्धतीने केला आहे, तीही एक सांकेतिक पद्धतीच आहे ! नुसत्या अंकांनी ती संख्या लिहिली असती तर फक्त १०।११ अंक लागले असते हे लक्षात येईल. आपणांस पूर्ण परिचित असलेल्या या पद्धतीला दशमान पद्धती (Decimal System) म्हणतात. या पद्धतीची वैशिष्ट्ये आपणांस माहीत आहेत, पण त्यांचा पुनरुल्लेख करून ही पद्धती संगणकात वापरण्याच्या दृष्टीने कितपत सोयी-गैरसोयीची आहे हे आता पाहावयाचे आहे.

दशमान पद्धतीत ० ते ९ या दहाच स्वयंसिद्ध किंवा पायाभूत अंकांपासून पुढचे अंक किंवा संख्या बनविल्या आहेत. या पद्धतीचे पायाभूत अंक १ ते १० हे आहेत, असा अनेकांचा समज असतो, तो चुकीचा होय. किंबहुना " १० " ही अशी पहिलीच दोन स्वयंसिद्ध अंकांपासून बनविलेली संख्या आहे, याचा, ती लिहिताना प्रत्यय येतो. या संख्येने व्यक्त होणारा अर्थ असा की येथे उपरोक्त स्वयंसिद्ध अंकांचे " १ " आवर्तन संपून दुसरे सुरू झाले. आणि म्हणून पूर्ण झालेल्या आवर्तनाचा दर्शक अंक " १ " व

नव्या आवर्तनाच्या सुरुवातीचा अंक “ 0 ” या दोहोंची जुळणी येथे केली आहे. [याप्रमाणे जुळविलेल्या संख्या उच्चाराने व्यक्त करण्याकरता, त्यांच्या नावांत, पूर्ण झालेल्या आवर्तनांचे दर्शक असे प्रत्यय / उपसर्ग जोडून ती नावे बनविली आहेत; उदा. अकरा (एक–रा), बारा (बे–रा) सतरा (सात–रा) येथे ‘ रा ’ हा प्रत्यय एक आवर्तन पूर्ण झाल्याचा निदर्शक, त्रे–चाळीस, चौ–सष्ट यांमधील ‘ चाळीस ’ ‘ सष्ट ’ हे प्रत्यय अनुक्रमे चार व सहा आवर्तने पूर्ण झाल्याचे निदर्शक तर एक–शे–सत्ता–वीस यांतील ‘ एक–शे ’ हे उपसर्गासारखे शब्द ‘ दहा आवर्तनांचे एक मोठे आवर्तन ’ पूर्ण झाल्याचे निदर्शक, ‘ वीस ’ हा शब्द ‘ शिवाय दोन साधी आवर्तने ’ पूर्ण झाली हे दर्शविणारा तर ‘ सत्ता ’ हा शब्द मूळ, स्वयंसिद्ध सात अंकांची, ‘ सुट्यांची ’ उपस्थिती दर्शविणारा आहे, हे सर्व आपणांस विदित आहे. येथे एक महत्त्वाची गोष्ट ध्यानी घ्यायची :—एखाद्या राशीतले नग, उदा. ढिगातली फळे, पुस्तकाची किंवा पत्र्याची पाने इ. मोजताना आपण सुरुवातीच्या नगाला ‘ शून्य ’ (0) हे नाव देत नाही, तर ‘ एक ’ (१) हे नाव देतो. त्याला ‘ पहिला ’ नग म्हणतो. त्यामुळे यावेळी अंकांच्या नावांच्या आवर्तनाची समाप्तीही एक घर पुढे सरकते व ‘ दहा (१0) नगांच्या ’ मोजणीने एक आवर्तन पुरे होते, त्यांचा एक ‘ ढीग ’ बाजूला काढता येतो ! अर्थात् हा फरक फार सोयीचा आहे].

दशमान पद्धतीविषयीची पुढील माहितीही आपणास ज्ञात आहे :—पूर्णांक संख्येतील सर्वांत उजवीकडे लिहिलेल्या—एकं स्थानच्या—अंकाचे मूल्य त्याच्या दर्शनी मूल्याइतकेच असते; त्याच्या डावीकडच्या—क्रमाने दशं, शतं....स्थानावरील—अंकाची मूल्ये दर्शनी मूल्यांच्या दसपट, शतपट....अशी, म्हणजे दहाच्या, क्रमाने वाढत्या घातांनी गुणून येतील ती असतात; व सबंध संख्येचे मूल्य हे या वेगवेगळ्या मूल्यांच्या बेरजेइतके असते. तसेच, अपूर्णांकांच्या बाबतीत दशांश चिन्हाच्या उजवीकडील अंकांची मूल्ये, क्रमाने, दर्शनी मूल्यांचा दशांश, शतांश....अशी असतात व सबंध अपूर्णांकाचे मूल्य हे या वेगवेगळ्या मूल्यांची बेरीज असते.

उदाहरणार्थ, $१२७ = १\times१0^{२} + २\times१0^{१} + ७ \times १0^{0}$; तसेच $\cdot१२७ = १\times१0^{-१} + २ \times १0^{-२} + ७ \times १0^{-३}$.

या सर्व माहितीवरून कुणालाही असे सुचेल की, संगणकाला गणित घालताना, गणितातील कळवायच्या (दशमान) संख्या, त्या थेट ‘ लिहिल्या जातात तशा ’ क्रमवारीने कळवाव्या, फक्त त्या त्या स्थानच्या अंकाऐवजी ‘ अंकाइतके वीज-स्पंद ’ पाठवावेत; शेजारच्या दोन अंकांच्या पाठवणीमध्ये म्हणजेच त्यांच्या दर्शक स्पंद-गटांमध्ये ठराविक कालखंड अंतर ठेवावे; दशांश चिन्हाकरता असाच काहीतरी स्पंद-प्रेषणाचा संकेत पाळावा इ. इ. ’ ही कल्पना ‘ संख्येइतके स्पंद ’ या पहिल्या कल्पनेपेक्षा पुष्कळ व्यवहार्य दिसते, पण ती स्वीकारण्याच्या मार्गांत काही ढोबळ अडचणी सहज दिसतात. एक म्हणजे, या स्पंदमालिकेचे संगणक काय करणार याचा काहीच बोध होत नाही, व

दुसरे, गणित घालतानाच चूक होण्याचा संभव फार मोठा दिसतो—संख्येतील एखाद्या अंकाचे स्पंद पाठविण्यात एखादाही स्पंद कमीजास्ती झाला तरी त्या अंकाच्या स्थानानुसार दहा, शंभर, हजार....इतकी चूक होईल; आणि सबंध स्थानाचीच चूक भूल झाली तर संख्येच्या दसपट किंवा दशांश इतकी चूक होईल !

या दोन कल्पना केवळ अंकगणितावर अधिष्ठित आहेत. पण कॉम्प्युटरमध्ये अंकगणित व बीज यांचा संबंध, सहकारिता आहे हे आधीच सांगण्यात आले आहे. या संबंधाला आता ' स्पंदांची अंकानुसारिता ' व ' अंकांची स्पंदानुसारिता ' असे म्हणणे अन्वर्थक होईल. तेव्हा या सहकारितेच्या आधारावर, संबंधित संख्येतल्या ' एकेक अंकाकरता एकेकच बीजस्पंद' योजायचा, पण त्याचे वैजिक सामर्थ्य, वैजिक मूल्य मात्र त्या त्या अंकाच्या दर्शनी मूल्याच्या ठीक प्रमाणात ठेवायचे व एकंदरीने गणिती व वैजिक दोन्ही बाबतींत दशमान पद्धतीचाच वापर करून काम भागवायचे, हे का न शक्य व्हावे, असे एखाद्यास सुचेल.

' शून्य ते नऊ यांपैकी त्या त्या अंकाकरिता ठीक प्रमाणबद्ध असलेले बीजवर्चस् (electrical potential) वापरून संख्या व्यक्तविण्याचे काम करावे ' अशी सूचना ओघानेच पुढे येते. या तत्त्वावर कार्य करणारे **डेकाट्रॉन** (Dekatron) नावाचे एक बीजकीय उपकरण उपलब्धही आहे. **डेकाट्रॉनची** त्रोटक माहिती अशी :—आपणास परिचित असलेली, पांढरा स्वच्छ प्रकाश देणारी (fluorescent) ट्यूब सर्व अंगभर प्रकाशते; तर डेकाट्रॉन् ट्यूब याच जातीची (स्वतः थंड राहून) प्रकाश देणारी असते, पण या ट्यूबच्या मध्यभागी एक धनाग्र (anode) व त्याच्याभोवती 0 ते ९ असे क्रमांक असलेली दहा ऋणाग्रे (cathodes) असतात व त्या त्या क्रमांकाच्या बरोबर प्रमाणात असलेले बीजवर्चस (voltage) ट्यूबला पुरविले असता नेमके तेवढेच ऋणाग्र प्रकाशित होते. थोडक्यात या साधनाने, उपलब्ध वर्चस् किती आहे याचे (तुलनात्मक, scaled) मूल्य चटकन कळू शकते. पण अंकमूल्यांशी तंतोतंत प्रमाणबद्ध अशी बीजवर्चसे सिद्ध ठेवून अतित्वरेने ती संगणकास पुरवणे हे काम डेकाट्रॉनने शक्य होत नाही. एवंच ही सूचनाही अंकांच्या अभिव्यक्तीच्या दृष्टीने निरुपयोगी ठरते.

अशा परिस्थितीत एखाद्याच्या मनात असा विचार येईल की, ' स्वयंभू नि पायाभूत म्हणून दहा अंक पत्करावे लागणे आणि त्या दहा अंकांवर अंकगणिताचा सर्व डोलारा बसविलेला असणे ' ही परिस्थिती अगदी अनिवार्य आहे का ? त्या दहामध्ये काही कपात करता येणार नाही का ? कारण आपल्या प्रस्तुतच्या कामात विजेने त्या त्या अंकाच्या मूल्याशी तंतोतंत समप्रमाणत्व (exact proportionateness) साधणे हे उद्दिष्ट आहे व त्या दृष्टीने दहा म्हणजे फार होतात. तत्त्वतः अशी कपात करण्यास काही अडचण दिसत नाही. कारण अंकांची दहा ही मर्यादासुद्धा माणसाने स्वतःच निर्मिलेली आहे. दोन्ही हातांची बोटे–अंगुळे–घालून मोजताना सुलभता येते हे ध्यानी आल्यावर पुरातन मानवानेच ' अंगुळांइतके अंक ' मोजून ते मूळ अंक समजले असावेत.

मोजताना, एकाच हाताच्या बोटांचा उपयोग करायचा असा संकेत सर्वत्र ठरला असता तर पाचच मूल अंकांवर आधारित अशी गणितपद्धती–पंचमान पद्धती–रूढ झाली असती ! एवढेच नव्हे, तर फक्त दोन हातांचाच (म्हणजे उदा. त्यांच्या उजवा, डावा या नावांचा) पुनः पुनः आवर्तने करून मोजण्याच्या कामी उपयोग करण्याचे मानवाने ठरवले असते तर ' द्विमान पद्धती ' रूढ झाली असती. थोडक्यात ' मूल अंक दहा असलेच पाहिजेत ' हे काही ब्रह्मवाक्य नाही. ते दहापेक्षा कमी असू शकतात !

हा तात्त्विक निष्कर्ष प्रत्यक्षात येऊ शकेल, हे दर्शविणारे व आपल्या उद्दिष्टाशी पुष्कळच जवळचे नाते सांगणारे एक तंत्र आपल्या परिचयाचे आहे. ते म्हणजे **मॉर्स-कोड व तारायंत्र**. मॉर्स पद्धतीच्या द्वारा पाश्चात्य वर्णमालेची सर्व मुळाक्षरे व त्यांचे बनविलेले शब्द, येवढेच नव्हे, तर प्रस्तुत विषयाच्या दृष्टीने महत्त्वाचे म्हणजे, कोणतीही लहान-मोठी संख्या व्यक्तविता येते व नंतर तारायंत्रातील वीजप्रवाहाच्या माध्यमाने तिचे प्रेषणही करता येते ! मॉर्स पद्धतीत ' कट्ट ' व ' कट् ' असे फक्त दोनच ध्वनी, किंवा ते ध्वनी निर्माण करणारे वीजप्रवाहाचे ' स्पंद ' प्रेषित करावे लागतात. एक लांब व दुसरा आखूड एवढाच त्या दोहोतील वेगळेपणा असतो. तिसऱ्या कसल्याही आवाजाची जरूरी पडत नाही.

> या माहितीवरून आशादायक निष्कर्ष असा निघतो की, दहा (इतक्या खूप) अंकांऐवजी केवळ दोनच अंकांवर आधारित अशी अंकपद्धती बसवणे व तिच्या साह्याने इष्ट ते सर्व अंकगणित करता येणे हे शक्य आहे; व दुसरे, या कामीच्या विजेच्या उपयोगाचा विचार करता, प्रत्येक अंकाचे निदर्शक असणारे वीजप्रवाहाचे वेगळेपण सुलभपणे संभाळता येणे हेही शक्य आहे.

या गोष्टी प्रत्यक्षात उतरल्या आहेत. द्विमान पद्धती (Binary System) व द्विमान अंकगणित (Binary Arithmetic) या गोष्टी संगणकाच्या कार्यपद्धतीत अनिवार्य ठरल्या आहेत. * आपणांस त्या यथाक्रम समजून घ्यावयाच्या आहेत. तत्पूर्वी, संकल्पित दोन अंकांच्या निदर्शक अशा विजेच्या ज्या दोन खुणा, त्यांमध्ये काही सुधारणा शक्य असल्याचे आढळले आहे, त्या सुधारणेची माहिती करून घेऊ.– मॉर्स पद्धतीत ' दीर्घ प्रवाह ' व ' आखूड प्रवाह ' अशी विजेच्या प्रवाहाची दोन वैशिष्ट्ये योजिलेली आहेत; आपणास त्याऐवजी ' प्रवाह ' व ' प्रवाहबंद ' ही दोन वैशिष्ट्ये वापरूनही आपले प्रस्तुतचे काम साधता येईल. आता, ' प्रवाहबंद ' हे काही प्रवाहाचे वैशिष्ट्य नाही; तो तर प्रवाहाचा अभाव आहे. पण हा अभाव, किंवा चालू प्रवाहात मधूनमधून येणारी ' स्तब्धता ' हीसुद्धा ' प्रवाह ' या घटनेइतकीच अर्थपूर्ण खूण ठरते ! या विधानाचा

---

* या विधानाचा प्रतिवाद करणारी एक वार्ता वाचनात आली आहे. पुढे प्रकरण ११ मध्ये तळटीपेत ती दिली आहे.

खुलासा असा : नव्या अंकपद्धतीतील संकल्पित दोन अंकांपैकी एकाचे प्रतिनिधित्व जर 'वीजस्पंद' या घटनेने होत असेल, तर त्या अंकाची मालिका ही, स्पंद-मालिकेने व्यक्त करता येईल; पण स्पंद-मालिकेतील मधले मधले काही स्पंद चुकविले अर्थात 'बंद' ठेवले, तर यामुळे निर्देशित होणाऱ्या अंकमालिकेत त्या त्या ठिकाणी दुसरा संकल्पित अंक असल्याचे रास्तपणे समजता येईल.

पण या बाबतीत आता इतके मोघमपणे बोलण्याची जरूरी नाही. कारण,'दशमान पद्धती'चे पायाभूत दहा अंक ० ते ९ हे आहेत मग त्याच चालीवर 'द्विमान पद्धती'चे पायाभूत दोन अंक ० व १ हे ठरतात. आणि या पुढची गोष्ट, "१" हा अंक 'वीजस्पंद' (elec. pulse) या घटनेने व्यक्त होणे व "०" हा अंक त्या घटनेच्या अभावाने (no pulse ने), ज्याला सोइस्करपणे 'बंद' म्हणता येईल, त्या 'बंद'ने व्यक्त होणे हे स्वाभाविक ठरते.

अशाप्रकारे वीजप्रवाह व अंक यांमध्ये सोयीचा संबंध प्रस्थापित झाला; व प्रस्तुत प्रकरणाच्या मथळ्यांत सूचित केलेले रहस्य आपल्या ध्यानी आले. आता वीजप्रवाहाविषयीची चर्चा (तूर्त) स्थगित करून द्विमान अंकगणिताची माहिती करून घ्यावयाची आहे.

द्विमान पद्धती (Binary System) ही वरील प्रारंभिक वर्णनावरून आपणास कल्पनेने पटली असली तरी ती परिचयाची (सवयीची) नाही. पण ती समजण्यास कठीण आहे असेही नाही. पदोपदी आपल्या परिचयाच्या दशमान पद्धतीशी तुलना करून तिची माहिती करून घेता येते. (किंबहुना याकरताच दशमान पद्धतीच्या उपयुक्त वैशिष्ट्यांचा वर उल्लेख केला आहे.)

दशमान पद्धतीत ०, १, २, ३........९ हे अंक मोजल्यानंतर त्यांचे नवे आवर्तन सुरू होते; द्विमान पद्धतीत ०, १ हे दोन अंक मोजताच नवे आवर्तन सुरु होते. म्हणजे त्या पद्धतीत "१" च्या पुढचे २, ३, ४........हे अंक असे नाहीतच! दशमान पद्धतीतील "९" चे, म्हणजे सर्वोच्च अंकाचे, जे काम, ते येथे "१" ने होते. पुढचा २ हा अंक अर्थातच दशमान पद्धतीतील १० च्या जातीचा ठरतो व द्विमान पद्धतीने २ या संख्येचे लेखन "१०" असेच होते. ३ ही संख्या नव्या पद्धतीनुसार "११" अशी लिहायची; मग ४ ही संख्या ओघानेच "१००" अशी तीन-अंकी लिहावी लागते. सवय नसल्याने हे विचित्र वाटते, पण दशमान पद्धतीशी तुलना करून पाहताच संशय फिटतो.

दशमान संख्येतील दशांश चिन्हाच्या (Decimal point च्या) डावीकडे क्रमाने येणाऱ्या अंकांची मूल्ये, त्यांच्या दर्शनी मूल्यांना क्रमाने $१०^०$, $१०^१$, $१०^२$........यांनी गुणून येणाऱ्या गुणाकाराइतकी असतात, तर चिन्हाच्या उजवीकडील (अपूर्णांकातील) अंकांची मूल्ये, दर्शनी मूल्यांना क्रमाने $१०^{-१}$, $१०^{-२}$, $१०^{-३}$........यांनी गुणून येणारी (म्हणजे दर्शनी मूल्यांच्या दशांश, शतांश........) असतात.

याच चालीवर, द्विमान संख्येच्या बाबतीत, द्विअंश चिन्हाच्या (Binary point च्या) डावीकडील अंकांची मूल्ये, दर्शनी मूल्यांना क्रमाने $२^{०}$, $२^{१}$, $२^{२}$, $२^{३}$.... यांनी (म्हणजे १, २, ४, ८........यांनी) गुणून येणारी, तर चिन्हाच्या उजवीकडील अंकांची मूल्ये, त्यांना क्रमाने $२^{-१}$, $२^{-२}$, $२^{-३}$ .... यांनी (म्हणजे $\frac{१}{२}$, $\frac{१}{४}$, $\frac{१}{८}$,.... यांनी) गुणून येतील ती (म्हणजेच दर्शनी मूल्यांच्या द्वितीयांश, चतुर्थांश, अष्टमांश....) असतात. पण येथे गंमत अशी आहे की, द्विमान संख्येत एकंदर अंक असतात. ते फक्त दोन प्रकारचे ! " ० " किंवा " १ " हे. त्यामुळे संख्येत जेथे जेथे " ० " हा अंक असेल, तेथे त्याला ४, ८....नी काय किंवा $\frac{१}{२}$, $\frac{१}{४}$, $\frac{१}{८}$....नी काय कशानेही गुणल्यास किंमत ० च येते व जेथे जेथे " १ " हा अंक असेल तेथे २ च्या संबंधित घाता-इतकेच (म्हणजे उदा. ४, १६, ३२, $\frac{१}{४}$, $\frac{१}{८}$ इतके) मूल्य येते ! पुढील पृष्ठावर काही महत्त्वाच्या संख्या द्विमान पद्धतीने मांडून दाखविल्या आहेत तो तक्ता आधी पहावा. त्यावरून या पद्धतीची कल्पना स्पष्ट होईल.

तक्त्याचे बारकाईने निरीक्षण केल्यास पुढील गोष्टी ध्यानी येतील :

(अ) ७ या दशमान अंकापर्यंतचे अंक व्यक्त करण्यास तीन द्विमान अंक पुरतात, पण ८ व ९ यांच्याकरता प्रत्येकी चार द्विमान अंक लागतात.

(ब) २, ४, ८,...३२....१२८....१०२४....या संख्या २ चे पूर्ण घात असल्याने त्या " १ " वर योग्य तेवढी शून्ये देऊन सिद्ध होतात; या संख्या दशमान पद्धतीतील दहा, शंभर, हजार, यांच्या जातीच्या–दहाच्या पूर्ण घातांच्या जातीच्या–होत, तर

(क) १, ३, ७, १५....१२७...१०२३....या संख्या (ब) मधील त्या त्या संख्येपेक्षा फक्त १ ने कमी असल्याने नुसत्या " १ " च्या मालिकेने लिहिलेल्या आढळतात. या संख्या दशमान पद्धतीतील ९, ९९, ९९९.... यांच्या जातीच्या होत.

(ड) मधल्या मधल्या संख्या उदा. ५३, १६६ आणि विशेषतः १००, १००० यांची द्विमान रूपे (ब), (क), यांमधील द्विमान संख्यांपासून सुलभतेने तयार करता येतात. १००, १०००, १००००... या दशमान संख्यांच्या द्विमान रूपांचा तक्ता व (ब) (क) तील पुढच्या पुढच्या संख्यांचे तक्ते यांच्या साह्याने अधल्या मधल्या कोणत्याही दशमान संख्येचे द्विमान रूपात व द्विमान संख्येचे दशमान रूपात परिवर्तन शक्य होते.

द्विमान संख्या वाचताना 'एक', 'शून्य' येवढे दोनच उच्चार वापरून वाचायच्या. १६ ची द्विमान मांडणी 'दहा हजार' अशी वाचायची नाही; तर 'एक, शून्य, शून्य, शून्य, शून्य' अशी वाचायची.

या पद्धतीने संख्या व्यक्त करण्याकरता दोनच प्रकारचे अंक पुरतात हा फायदा झाला पण अंकांची मालिका मोठी होते ही गैरसोयही पत्करावी लागते. तरीपण, हे

संख्या	तिची द्विमान पद्धतीने मांडणी	मूल्याचा खुलासा
०	०	
१	१	$= २^{०}$
२	१०	$= २^{१}$
३	११	
४	१००	$= २^{२}$
५	१०१	
६	११०	
७	१११	= ४+२+१
८	१०००	$= २^{३}$
९	१००१	
१०	१०१०	= ८+०+२+०
११	१०११	
१२	११००	
१३	११०१	= ८+४+०+१
१४	१११०	
१५	११११	=८+४+२+१
१६	१००००	$=२^{४}$
३१	११११	=१६+८+४+२+१
३२	१०००००	$=२^{५}$
५३	११०१०१	=३२+१६+०+४+०+१
१२७	११११११	=६४+३२+१६+८+४+२+१
१००	११००१००	=६४+३२+४
		< किंवा
		=१२७-(१६+८+२+१)
१२८	१००००००	$=२^{७}$
१६६	१०१००११०	=१२८+३२+४+२
१०२३	११११११११११	(दहा वेळा "१" हा अंक)
१०००	११११०१०००	[१०२३-(१६+४+२+१)]
१०२४	१००,००००,००००	$=२^{१०}$ ("१" वर १० शून्ये)
२०४८	१०००,००००,००००	$=२^{११}$
१०,४८,५७६	एकावर बीस शून्ये	$=२^{२०}=२^{१०}\times२^{१०}$
		(१०२४×१०२४)

ध्यानी घ्यावे की, ही मालिका अवाढव्य मोठी होते असे नाही. मोठमोठया संख्यांच्या

बाबतीतही दशमान पद्धतीने मांडलेल्या मालिकेच्या ती फक्त तीन-सव्वातीन पट मोठी असते. तक्त्यातील शेवटशेवटच्या संख्या पाहाव्या.

द्विमान पद्धतीच्या "०" व "१" या पायाभूत अंकांना ओघानेच **द्विमान अंक** (Binary Digits) म्हणतात. पुढे, या दोन इंग्रजी शब्दांचा संक्षेप करण्याकरता Binary या शब्दातील पहिली दोन अक्षरे Bi व Digit शब्दातील शेवटचे अक्षर t हे घेऊन, त्या अंकांपैकी कोणत्याही अंकाला लावता येणारा 'Bit' हा शब्द तयार केला आहे. म्हणजे उपरोक्त दोन अंक हे दोन Bits होत. आपण सोयीनुसार 'Bit' (बिट्) किंवा 'द्विमान अंक' किंवा संधी करून 'द्विमानांक' हे शब्द योजू. 'दशमान अंक' (Decimal Digit) हे दोन शब्दही विवेचनात वारंवार येणार असल्याने त्यांचा संक्षेप करून 'दशांक' हा शब्द योजू.

संगणकाकडून सोडवून घ्यायच्या गणितातील कोणतीही संख्या नि विशेषेकरून तिचे द्विमान पद्धतीत परिवर्तित केलेले रूप ही एक पूर्ण कल्पना समजता येते. भाषेतील 'शब्द' हाही पूर्णार्थक असतो. या कारणाकरता, अशा द्विमान-परिवर्तित संख्येला–द्विमानांक मालिकेला––संगणकविज्ञानाच्या भाषेत 'Word'––'शब्द'— असे म्हणतात. असा एखादा 'शब्द' हा ४०–५० इतक्या खूप द्विमानांकांचा बनलेला (40-50-Bit Word) असू शकतो.

प्रकरण : ४

द्विमान अंकगणित – भाग १

द्विमान बेरीज, वजाबाकी;

' पूरक रीतीने ' साधणारी वजाबाकी;

द्विमान गुणाकार व भागाकार.

दोन मूल अंकांवर अधिष्ठित अशी द्विमानपद्धती गणिताकरता स्वीकारल्यास व ती संगणकामध्ये उपयोजिल्यास त्याचे गणित सोडविण्याचे काम सुलभ होईल अशी ग्वाही येथवरच्या विवेचनावरुन मिळाली. हे काम संगणकातील वीजसरण्या कशा रीतीने पार पाडतात हे समजण्यास अजून बराच अवकाश आहे. पण त्या कामाचे स्वरूप, म्हणजेच द्विमान पद्धती वापरुन आवश्यक त्या गणिती क्रिया करण्याचे तंत्र आधी समजून घेतले पाहिजे. थोडक्यात, आधी पाटीवरले (वाटल्यास कागदावरले म्हणा) द्विमान अंकगणित समजून घेतले पाहिजे. दुसरी गोष्ट, या पाहुण्या द्विमान पद्धतीचा उपयोग संगणकाच्या आतच फक्त होणार आहे. संगणकाच्या बाहेर सर्वत्र दशमान पद्धतीच रूढ आहे. (इतकी की, दुसरी अंक-पद्धती असेल याची आपणास जाणीवही नसते), त्यामुळे, सोडवायचे ते गणित दशमान पद्धतीत असणार व त्याचे उत्तरही आपणांस दशमान स्वरूपातच हवे. याचा अर्थ, संबंधित गणितातील संख्यांच्या मांडण्या एकीतून दुसऱ्या पद्धतीत परिवर्तित करणे हे या अंकगणितातले पहिले काम ठरते.

आणखी एक गोष्ट येथेच सूचित करणे इष्ट वाटते :– दोन्ही अंक-पद्धती त्यांच्या वेगवेगळ्या गुणांमुळे उपयुक्त आहेत. द्विमान पद्धतीचा बाह्य जगात तसा विशेष उपयोग दिसत नाही. पण दशमानपद्धती संगणकाच्या अंतर्भागात सर्वथा निरुपयोगी नि अस्वीकार्य असेल का ? या प्रश्नाचे उत्तर ' नाही ' असे आहे. तिच्यात व द्विमान पद्धतीतही इष्ट फेरबदल करून त्यांच्या जुळणीतून एक तिसरी उपयुक्त पद्धती (तिला तूर्त वाटल्यास ' संकरित पद्धती ' म्हणू) सिद्ध होते की जी, संगणकाच्या कार्यपद्धतीत फार उपयुक्त ठरली आहे ! यथाक्रम आपल्याला या संकरित पद्धतीचेहि अंकगणित व संगणकांतील तिच्या उपयोगाची रीती समजून घ्यायची आहे. त्याआधी साधे द्विमान अंकगणित समजून घेऊ.

दशमान पद्धतीप्रमाणेच द्विमान पद्धतीत (अ) संख्येतील पूर्णांक, (ब) द्वि-अंश

चिन्ह किंवा बिंदू व (क) संख्येतील अपूर्णांक ही संख्येची तीन अंगे डावीकडून उजवीकडे क्रमाने लिहिण्याची रीत आहे. अशा परिस्थितीत, दशमान–ते–द्विमान, किंवा उलट, परिवर्तन करताना मधला बिंदू अढळ ठेवून, पूर्णांकाचे व अपूर्णांकाचे परिवर्तन आपापल्या जागी स्वतंत्रपणे करून लिहिल्याने परिवर्तित संख्या मिळते. प्रथम दशमान–ते–द्विमान परिवर्तन अभ्यासू.

संख्येच्या दशमान मांडणीचे सममूल्य द्विमान मांडणीत परिवर्तन. या बाबतीत पुढीलप्रमाणे करावे लागेल : संबंधित (दशमान) पूर्णांकातून २ चा मोठयात मोठा कोणता घात वजा जात असेल तो वजा घालवून त्याप्रीत्यर्थ द्विमान मांडणीतील त्याच्या नियोजित स्थानी " १ " मांडावा; उरलेल्या बाकीतून २ चा लगोलग खालचा घात वजा जात असल्यास त्याच्या स्थानीं " १ " व जात नसल्यास " ० " मांडावे; पुढे, २ च्या खालच्या खालच्या घातांच्या बाबतीत हीच कृती करावी; व शेवटी, २ चा शून्य घात ($२^{०}$) वजा जातो का नाही हे पाहून पूर्णांकात सर्वांत उजवीकडे " १ " किंवा " ० " योग्य तो अंक लिहावा.

या कृतीचा आशय एका धोपट रीतीने साधता येतो. ती रीती अशी :— संबंधित (पूर्णांक) संख्येला २ ने भागायचे व सोयीकरता 'भागाकार' व 'बाकी' यांना नेहमीपेक्षा वेगळ्या जागी लिहायचे. नंतर, आलेल्या भागाकारावर हीच कृती करायची व याप्रमाणे दर टप्प्याला आलेल्या भागाकारावर, अखेरची बाकी १ किंवा ० उरेपर्यंत हीच कृती पुनःपुनः करायची. दर टप्प्यावरील 'बाकी' चे अंक अर्थात क्रमाने लिहायचे. ही 'बाकी' अंकांची संख्या हेच गणिताचे उत्तर.

(दशमान) अपूर्णांक संख्येचेही परिवर्तन करण्याचा रास्त मार्ग म्हणजे त्या संख्येतून २ चे कोणकोणते उणे घात क्रमाने (उदा. $२^{-१}$, $२^{-२}$, $२^{-३}$ ....अर्थात $\frac{१}{२}$, $\frac{१}{४}$, $\frac{१}{८}$,........म्हणजेच दशांश रूपांत ·५,·२५,·१२५........) वजा जातात, का जात नाहीत ते पाहून त्याप्रीत्यर्थ " १ " किंवा " ० " हे अंक क्रमाने लिहिणे हा होय. पण या कामीही पुढील धोपट रीती उपयुक्त ठरते :– संबंधित (दशमान) अपूर्णांकाला २ ने गुणून, गुणाकारांत पूर्णांकाच्या जागी १ किंवा ० येईल तो अंक तेथे लिहायचा व राहिलेल्या अपूर्णांकावर हीच 'पुनः पुनः गुणाकारा'ची कृती करायची. अर्थात अपूर्णांकाच्या जागी ० येईपर्यंत ही कृती करायची. या कृतीत पूर्णांक म्हणून क्रमाने आलेल्या अंकांची संख्या ही गणिताचे उत्तर ठरते.

थोडा विचार केल्यास, या दोन्ही धोपट कृतींचा मतितार्थ हा प्रस्तुत परिवर्तनाचे काम करण्यास इष्ट तोच असल्याचे उमगेल. खाली एक नमुन्याचे उदाहरण या कृतींनी सोडवून दाखविले आहे. उदाहरणांतील दशमान संख्या आहे १४३.६२५ आणि कमानीच्या आकाराच्या बाणाच्या रेषेच्या निकट जे अंक आलेत ते पुनः सरळ ओळीत क्रमाने लिहिले व दशांश बिंदू होता त्याच जागी द्वि-अंश बिंदु दिला म्हणजे उत्तराची द्विमान संख्या मिळते.

```
            १४३ • ६२५

२ ) १४३        •         ६२५
२ ) ७१   १   ┌───┐        ×२
२ ) ३५   १   │   │   १   २५०
२ ) १७   १   │   │        ×२
२ ) ८    १   │   │   ०   ५००
२ ) ४    ०   │   │        ×२
२ ) २    ०   │   │   १   ०००*
२ ) १    ०   │   │
    ०    १   ↑   ↓
```

परिवर्तित द्विमान संख्या : १०००११११.१०१

द्विमान मांडणीतील संख्येचे दशमान मांडणीत परिवर्तन ही तर तुलनेने सोपी गोष्ट आहे. पूर्णांकाच्या बाबतीत त्या त्या स्थानी असलेल्या " १ " ची मूल्ये उदा. ६४, ३२, ८, २ यांची बेरीज करायची व अपूर्णांकांच्या बाबतीत ज्या ज्या स्थानी " १ " असेल त्या त्या स्थानाची त्यामुळे व्यक्त होणारी मूल्ये, उदा. $\frac{१}{२}$, $\frac{१}{४}$, $\frac{१}{१६}$, $\frac{१}{६४}$....यांची बेरीज करायची, त्या बेरजेला दशांश रूप द्यायचे व या दोन बेरजा एकीपुढे दुसरी अशा लिहून मध्ये दशांत चिन्ह द्यायचे म्हणजे इष्ट परिवर्तन होते.

या कृतीकरतां वेगळे उदाहरण घ्यायला नको. वरील उदाहरणाचा ताळा करून पाहिल्याने हे काम साधेल व शिवाय वरील उत्तर बरोबर आहे का नाही हेही कळेल.

ताळा : पूर्णांकाची बाजू १०००११११ ही आहे. सर्वांत डावीकडचे स्थान $२^७$ चे आहे, व तेथे " १ " असल्याने त्याचे मूल्य १२८ हे आहे. याप्रमाणे क्रमाने त्या त्या स्थानांची मूल्ये काढून बेरीज करायची––

बेरीज : १२८+०+०+०+८+४+२+१ = १४३

याच चालीवर अपूर्णांकांची बेरीज : $\frac{१}{२}+\frac{०}{४}=\frac{१}{८}=\frac{५}{८}$ = ·६२५

संपूर्ण संख्या : १४३·६२५

याप्रमाणे संख्येच्या मांडणीच्या परिवर्तनाचे तंत्र आपण अभ्यासले.

आतां अंकगणितातल्या प्राथमिक कृती––बेरीज, वजाबाकी, गुणाकार व भागाकार द्विमान पद्धतीने कशा करतात ते पाहू.

द्विमान बेरीज–या पद्धतीत ० व १ हे दोनच अंक वापरायचे असल्याने त्यांच्या बेरजेचे एकंदर पुढील चार प्रकार संभवतात.

---

* टीप––मूळ दशमान अपूर्णांकात शेवटी ५ हा आकडा असेल तरच द्विमान रूप निःशेष येण्याचा संभव असतो. एरवी आवर्ती गुणाकार येतात. शेवटी ५ असूनही आवर्ती गुणाकार येऊ शकतात. अशावेळी, जितक्या द्वि-अंश स्थानांपर्यंत उत्तर काढल्याने अपेक्षित अचूकपणा (accuracy) मिळत असेल तितक्या स्थानांपर्यंत कृती करावी.

$$\begin{array}{r} 0 \\ +0 \\ \hline 0 \end{array} \quad \begin{array}{r} 0 \\ +१ \\ \hline १ \end{array} \quad \begin{array}{r} १ \\ +0 \\ \hline १ \end{array} \quad \begin{array}{r} १ \\ +१ \\ \hline १0 \end{array}$$

चवथ्या प्रकारात 'हातचा' आलेला "१" डावीकडे (डाव्या बाजूच्या स्तंभात) लिहून, खुद्द बेरजेच्या स्तंभात 'सुट्टे' राहिलेले "0" लिहिले आहे व आलेल्या बेरजेचे दशमान मूल्य २ हे आहे, हे सहज ध्यानात येते. खाली एक नमुन्याची बेरीज दिली आहे. दशमान/द्विमान पद्धती-बदलाचा अभ्यासही जाता जाता शक्य व्हावा म्हणून दशमान संख्याही शेजारी मांडल्या आहेत.

$$\begin{array}{r} २१९ \\ +१५३ \\ \hline ३७२ \end{array} \qquad \begin{array}{r} ११0११0११ \\ +१00११00१ \\ \hline १0१११0१00 \end{array}$$

दोनपेक्षा अधिक संख्यांची बेरीज करताना अंकांच्या एकाच स्तंभात अनेक 'हातचे' येऊ शकतील व मग दर दोन हातच्यांचा एक 'महत्तर हातचा' धरण्याची पाळी येईल. ही गैरसोय टाळण्याकरता संगणकात एकावेळी दोनच संख्यांची बेरीज होते. या बेरजेत मग तिसरी संख्या मिळवायची, त्यांच्या बेरजेत चवथी संख्या मिळवायची.... अशी व्यवस्था असते. असे असले तरी उजव्या बाजूच्या स्तंभातील बेरजेतून आलेला हातचा "१" व चालू स्तंभात वर, खाली असलेले "१", "१" अशी तीन "१" अंकांची बेरीज करावी लागण्याचा संभव अवश्य असतो. अशा वेळी, चालू स्तंभाखाली सुट्टा राहिलेला "१" व चालूच्या डावीकडच्या स्तंभाखाली लिहिण्याकरता हातचा "१" अशी "११" बेरीज येते. हिचे मूल्य ३ असल्याचे उघड आहे. वरील नमुन्याच्या बेरजेत मध्य भागाच्या जवळ ही परिस्थिती आलेली आढळेल. संगणकात हे विशेष कामही व्यवस्थित पार पाडले जाते.

द्विमान वजाबाकी–वजाबाकीच्या बाबतीतही प्रस्तुत पद्धतीतील दोन अंकांच्या परस्पर संबंधांचे एकंदर पुढील चार प्रकार संभवतात :

$$\begin{array}{r} 0 \\ -0 \\ \hline 0 \end{array} \quad \begin{array}{r} १ \\ -0 \\ \hline १ \end{array} \quad \begin{array}{r} १ \\ -१ \\ \hline 0 \end{array} \quad \begin{array}{r} 0 \\ -१ \\ \hline \end{array}$$

शेवटच्या प्रकारात वरच्या अंकाचे मूल्य खालच्याच्यापेक्षा कमी असल्याने डावीकडच्या स्तंभातून १ 'उसना' घ्यावा लागतो, तो घेतल्यावर मांडणी व वजाबाकी अशी होते :

$$\begin{array}{r} १0 \\ -\ \ १ \\ \hline १ \end{array}$$

अर्थात हा 'उसना' नेहमीप्रमाणे लगेच परत करावा लागतो हे उघड आहे.

लहान संख्येतून मोठी संख्या वजा जात नाही पण तशी वजाबाकी केलीच तर उत्तर उणे येते हा नियम या पद्धतीसही लागू आहे. पुढील उदाहरण पाहावे.

७	१११
–५	–१०१
२	०१०

ही साधी वजाबाकी झाली. पण वजाबाकीतील खालच्या-वरच्या संख्यांची जागा बदलून ५–७ ही वजाबाकी सुचविली असेल तर उत्तर –२ येईल :

५	१०१
–७	–१११
–२	–०१०

येथे मोठ्या संख्येतून लहान संख्या वजा करून उत्तराला उणे चिन्ह (–) लावले आहे. आता थोड्या मोठ्या संख्यांची वजाबाकी पाहू :

८३	१०१००११
–७०	–१०००११०
१३	०००११०१

या उदाहरणातील दोन्ही संख्यांच्या द्विमान मांडणीतील सर्वांत डावीकडचे स्थान हे २^{६} चे अर्थात ६४ चे असल्याचे ध्यानी घेतल्यास उदाहरण समजण्यास अडचण पडणार नाही.

काही संगणकात वजाबाकीचे काम होते ते वरच्या उदाहरणात निर्देशिलेल्या साध्या रीतीने होते पण काहींमध्ये ते एका अभिनव रीतीने होते. या अभिनव रीतीचे नाव ‘ पूरक-संख्या रीती ’. दोन्हींपैकी कोणत्याही रीतीने काम होत असताना संगणकातील विविध वीजसरण्यांमधून वीजप्रवाह कसे वाहतात किंबहुना त्या सरण्यांचे स्वरूप कसे असते हे आताच समजणे शक्य नाही. ते अर्थातच फार मनोरंजक आहे व क्रमाने समजणार आहे, पण त्यामागचे प्रस्तुतच्या पूरक–अंकरीतीतल्यासारखे अंकगणितही मनोरंजक आहे ते आधी समजून घेतले पाहिजे. त्याचे स्वरूप असे :

कोणतीही संख्या शून्यामधून वजा केली असता त्या संख्येची पूरकसंख्या (complement) मिळते; उदा. ५ ची पूरक ०–५ म्हणजे –५; तसेच ब ची पूरक –ब इ. आता ही रीती असे सांगते :— जी संख्या वजा घालवायची असेल (समजा ब) तिची पूरक संख्या आधी काढा; ती पूरक संख्या निघाली –ब; आता ब जिच्यातून वजा घालवायची आहे त्या संख्येत (समजा अ मध्ये) ही पूरक संख्या मिळवा, म्हणजे वजाबाकीचे उत्तर निघते. थोडक्यात, ‘ अ + (–ब) ही कृती करा म्हणजे अ – ब या वजाबाकीचे उत्तर मिळते ’, असे ही रीती सांगते. पण यात नवीन काहीच नाही; अ–ब हेच विधान लिहिण्याचा अ + (– ब) हा थोडा वेगळा प्रकार आहे. पण दुसऱ्या विधानात एक गोष्ट सूचित झाली आहे, ती म्हणजे, गणितातील अंतिम कृती ‘ बेरजेची आहे ’, ‘ वजाबाकीची नाही. ’ आणि ही गोष्ट महत्त्वाची आहे.

ही रीती नुसत्या द्विमान पद्धतीलाच लागू नाही तर ती सर्वसामान्य (general) आहे. प्रथम ती दशमान गणितात वापरून पाहू. वरचेच ८३ – ७० = १३ हे उदाहरण घेऊ. आधी ७० ची पूरकसंख्या काढायची–म्हणजे शून्यातून ७० वजा करायचे :

  ००
−७० एकस्थानच्या स्तंभाची वजाबाकी ठीक झाली. पण दहंस्थानच्या कृतीकरता
  ३०

' उसना एक ' घ्यावा लागला व घेतलाही पण तो कोठून घेतला ? कारण येथे डावीकडे स्तंभच नाही ! खरे म्हणजे आपण ७० ही संख्या शून्यातून वजा न करता १०० मधून वजा केली आहे ! आणि यामुळे प्राप्त झालेली पूरक संख्यासुद्धा तिच्या रास्त मूल्यापेक्षा १०० ने भारी आहे ! आणि उदाहरणाच्या संपूर्ण कृतीत हे १०० केव्हातरी टाकून दिले पाहिजेत हे ओघानेच येते; पहा : ही पूरकसंख्या ३० आता ८३ मध्ये मिळवा— ८३ + ३० = ११३. ' एकशे तेरा ' हे उत्तर अगदीच अनपेक्षित आहे. त्याचे कारणही उघड आहे. त्यात मघाशी शिरलेले १०० हे जादा आहेत, ते काढून टाकले पाहिजेत. ते काढून टाकण्याचा सोपा मार्ग म्हणजे सर्वात डावीकडे शतंस्थानी जादा आलेला १ काढून टाकणे : ~~१~~१३ = १३ *

पूरक संख्येची अधिकृत व्याख्या आपण आधी सांगितली पण तिच्यात अनिवार्य-पणे काही बदल करावा लागला. प्रस्तुत उदाहरणात वजा घालवायची संख्या दोन-अंकी होती म्हणून ती शून्याऐवजी तीन-अंकी अशा १०० मधून वजा करून तिची पूरकसंख्या मिळविली. जरूरीप्रमाणे १०००, १०,०००, १००,००० यांचा या कामी उपयोग करावा लागेल. किंवा वजा घालवायची संख्या एक-अंकी असल्यास साध्या '१०' ने काम भागेल. आता पूरक संख्या काढण्याच्या कृतीत आपली थोडा फरक करू :— दहाचे पूर्ण घात असलेल्या वरील संख्यांऐवजी त्यांच्यापेक्षा केवळ १ ने कमी असणाऱ्या ९, ९९, ९९९, ९,९९९ इ. संख्या उपयोजून व उदाहरणात वजा करण्याकरता म्हणून जी संख्या दिली असेल ती या ' ९ ' च्या पुरेशा लांब मालिकेतून वजा करून पूरक संख्या काढू. नंतरची बेरजेची कृती अर्थातच वरच्या सारखीच करावयाची. या बदलामुळे, आता मिळेल ती पूरक संख्या ९, ९९, ९९९....ने भारी असेल, किंवा दुसऱ्या शब्दांत असे म्हणता येते की, ती (पूरक संख्या) १०, १००, १०००....ने भारी, पण त्याच वेळेला १ ने कमी

* ही रीती फार अवघड गणितावर आधारित आहे असे मुळीच नाही. चाणाक्ष वाचकाच्या लक्षात ते सहज आले असेल. ते गणित असे :

आपले उद्दिष्ट ८३ ते ७० हे अंतर काढण्याचे आहे. पण ७० ची पूरक संख्या म्हणून आपण काढली ती म्हणजे (८३ ते ७०) + (१०० ते ८३) अशी दोन अंतरांची बेरीज काढली. पुढे या बेरजेत ८३ मिळवले. हे ८३ व वरील उजवीकडच्या कंसातील अंतर मिळून १०० चा टप्पा गाठला जातो, व उत्तरात पुढचा ११३ चा टप्पा येतो, तो १०० मध्ये (८३ ते ७०) या पहिल्या कंसातले अंतर मिळवल्यामुळे. १०० ते ११३ हा टप्पा १३ चा आहे म्हणून ८३ ते ७० हा टप्पाही १३ चा ठरतो. व अशा रीतीने ८३ −७० = १३ हे उत्तर मिळते.

असेल. म्हणजे अंतिम बेरीज झाल्यावर या पूर्ण घाताच्या संख्या, म्हणजेच सर्वांत डावी-कडे आलेला जादा "१" काढून टाकण्याबरोबरच अंतिम बेरजेत एकंस्थानी १ (समजा तोच काढून टाकलेला १) मिळवावा लागेल. मघाच्याच उदाहरणाने या विवेचनाचा खुलासा होईल :

प्रथम ७० ची पूरकसंख्या काढणे : ९९ ; नंतर ही संख्या मूळच्या ८३ या
−७०
२९

संख्येत मिळवणे; सर्वांत डावीकडचा येणारा जादा १ (म्हणजेच १००) काढून टाकणे व ९९ ऐवजी १०० काढून टाकल्याने येणारी १ ची तूट अंतिम बेरजेत १ मिळवून भरून काढणे—

या कृती क्रमाने करावयाच्या :

```
    ८  ३
 +  २  ९
---------
 १  १  २
 └→ +  १
---------
    १  ३
```

येथे डावीकडे येणारा जादा "१" पुसणे व उजव्या टोकाच्या (म्हणजे एकं स्थानच्या) स्तंभात "१" मिळवावा लागणे या दोन्ही गोष्टी घडत असल्याने, 'तोच "१" तिथून उचलून येथे आणला जातो' असे म्हणता येते. इंग्रजीत या कृतीस ओघानेच 'End-around carry' म्हणतात.

ही पूरक-संख्येची रीती वापरताना चूकभूल होण्याचा एक मोठा संभव आहे, तो आता विचारात घेऊ. मघाच्या तळटीपेतील मजकुरावरून त्याची चाहूल लागली असेल. वरील उदाहरणात ७० ही वजा घालवायची संख्या ९९ या दोन-अंकी महत्तम संख्ये-तून वजा घालवून ७० ची पूरक संख्या आपण प्राप्त करून घेतली. योगायोगाने ९९ ही संख्या ८३ या, वजाबाकीतील 'वरच्या' संख्येपेक्षाही मोठी आहे व तिच्यामध्ये ८३ मधल्याइतके, म्हणजे २ अंक आहेत,— ती दोन-अंकी महत्तम संख्या आहे—, म्हणून ७० ची पूरक संख्या काढण्याकरता ती पुरेशी आहे. पण समजा, ७० हे, ८३ ऐवजी तिच्यापेक्षा मोठ्या, एखाद्या तीन-अंकी, चार-अंकी संख्येतून (उदा. १७६३ मधून) वजा करावयाचे असले तर ? तर येथवर सांगितल्याप्रमाणे कृती केल्यास काय घडते ते पाहा—

```
 १७६३
 −  ७०
 -----
 १६९३
```

—हे आपल्या उदाहरणाचे उत्तर आले पाहिजे हे उघड आहे.

आता ९९ मधून ७० वजा करून तिची वरीलप्रमाणे काढलेली २९ ही पूरक संख्या वापरून हे नवे उदाहरण सोडवले तर पुढीलप्रमाणे अनर्थ घडतो :—

```
   १७६३
+    २९
   ────
   १७९२
```

येथे डावीकडे जादा ' हातचा ' येणे व नंतर तो उजव्या टोकास नेऊन मिळवणे इ. करण्याची परिस्थिती निर्माणच होत नाही ! उलट, वजाबाकी १७९२ म्हणजे मूळच्या १७६३ या संख्येपेक्षाही जास्त येते !

या चुकीचे कारण मघाच्या तळटीपेतील विश्लेषणात दिले आहे. पूरक संख्या काढण्याकरता घ्यावयाची ती संबंधित टप्प्यावरची संख्या (मग ती १००, १०००, १०,०००....यांपैकी असो किंवा केवळ १ च्या फरकाने असलेली ९९, ९९९, ९९९९....यापैकी असो) वजाबाकीच्या उदाहरणातील ' वरच्या ' संख्येपेक्षाही मोठी व लगतच्या टप्प्यावरची असली पाहिजे, हे या बाबतीतले सत्य आहे. दुसऱ्या शब्दांत, वजा घालवायच्या, म्हणजे उदाहरणातील ' खालच्या ' संख्येची पूरक संख्या काढण्याकरता ९९, ९९९....इ. जी संख्या घ्यावयाची, तिच्यातील अंक हे ' वरच्या ' संख्येतील अंकाइतके असणे आवश्यक असते. ही सुधारणा केल्यावर मग उदाहरणाचे उत्तर पुढीलप्रमाणे बरोबर येते. येथे ' वरच्या ' संख्येत चार अंक आहेत, म्हणून ' खालच्या ' ७० या संख्येचा पूरक काढण्याकरता ९९९९ ही चार-अंकी संख्या घेणे क्रमप्राप्त आहे—

```
 ९९९९
  -७०
 ────
 ९९२९   ही ७० ची पूरक संख्या.
```

आता ही, उदाहरणातील १७६३ या ' वरच्या ' संख्येत मिळवायची व डावीकडे येणारा जादा ' हातचा ' उजव्या टोकास आणून मिळवायचा—

```
     १  ७  ६  ३
  +  ९  ९  २  ९
  ──────────────
  १  १  ६  ९  २
  |────────→+  १
  ──────────────
     १  ६  ९  ३   उत्तर बरोबर आले.
```

टीप :—या गणिती कृतीत 'पूरक संख्या' या गोष्टीच्या मूळ व्याख्येपासून दूर जावे लागताना जे टप्पे पत्करावे लागले ते मुद्दाम वर क्रमाने दर्शविले. त्यामुळे या कृतीतल्या मर्माचा खुलासा शक्य झाला. ' वजाबाकीच्या उदाहरणातील वरच्या संख्येतील अंकांच्या मालिकेइतकी लांब " ९ " या अंकाची मालिका मांडून, तिच्यातून खालची संख्या वजा करून, तिची पूरक संख्या काढावी ', अशी नुसती यांत्रिक कृती याकरिताच सांगितली नाही.

आता ही रीती द्विमान अंकगणितात योजून पाहू. फरक असा करावा लागेल की, ९, ९९, ९९९...अशी सर्वोच्च दशमान अंकाची मालिका घेण्याऐवजी १, ११, १११....अशी सर्वोच्च द्विमान अंकाची मालिका घ्यावी लागेल. पण येथे एक अकल्पित मजेदार अनुभव येतो. कोणतीही द्विमान संख्या ११११११....अशा "१" च्या मालिकेतून वजा केल्यावर जे उत्तर मिळते ते आश्चर्यजनक असते. पहा : वजा घालवायच्या संख्येत जिथे जिथे "१" असेल तिथे तिथे खाली "०" येणार (कारण १–१ = ०) व जिथे तिथे "०" असेल तिथे तिथे खाली "१" येणार (कारण १–० = १) ! **याचा अर्थ, पूरक संख्या काढण्याकरता येथे खरे म्हणजे वजाबाकी अशी करावीच लागत नाही ! तर नुसते यांत्रिकपणे, संबंधित संख्येतील "१" ऐवजी "०" व "०" ऐवजी "१" लिहून तिची पूरक संख्या मिळते !**

खो खो खेळायला बसलेल्या गड्यांपैकी प्रत्येकाने शिक्षकाच्या शिट्टीबरोबर चटकन तोंड फिरवून बसावे तसा काहीसा हा प्रकार होतो. (अर्थात खो खो मध्ये एकाआड एक गड्यांची तोंडे एका दिशेत असतातच. तितका नियमितपणा द्विमान संख्येतील ० व १ यांच्या क्रमात असणार नाही ही गोष्ट वेगळी).

या अकल्पित सत्याच्या व वर सांगितलेल्या दशमान अंकगणितात लागू होणाऱ्या तंत्राच्या आधारावर **द्विमान संख्यांची पूरक रीतीने वजाबाकी करण्याची रीत** मग पुढीलप्रमाणे मांडता येते :—

'वजा घालवायच्या 'खालच्या' संख्येतील एकंदर द्विमान अंक 'वरच्या' संख्येतील अंकांपेक्षा कमी असतील, तर वजा घालवायच्या संख्येस लागून डावीकडे पुरेशी शून्ये देऊन दोन्ही संख्यांची लांबी सारखी होईल असे करावे;

नंतर, येणेप्रमाणे (जरूर तर) सुधारित 'खालच्या' संख्येतील प्रत्येक "१" च्या जागी "०" व प्रत्येक "०" च्या जागी "१" लिहावा (म्हणजे तिची पूरक संख्या मिळते);

ही पूरक संख्या नंतर उदाहरणातील 'वरच्या' संख्येत मिळवावी, व बेरजेत सर्वात डावीकडे जादा 'हातचा' येईल तो तेथून हलवून उजवीकडच्या टोकाच्या अंकात मिळवावा.'

या कृतींनी उदाहरणाचे उत्तर मिळते.

"०" असेल तिथे "१" व "१" असेल तिथे "०" याप्रमाणे वजा घालवायच्या संख्येतील (किंवा कोणत्याही संख्येतील) **अंकांची उलटापालट करणे** हे काम संगणकात वीजस्पंदांच्या साह्याने अत्यंत सुलभतेने होते. नंतर, उदाहरणातील 'वरच्या' संख्येत, ही 'उलटापालटीने प्राप्त' पूरक संख्या मिळविणे हे **बेरजेचे काम** व डावीकडचा जादा "१" काढून उजवीकडे आणून मिळविणे (end-around carry) हेही '**बेरजेचेच काम**' अशी दोन कामे उरतात, ती कामे संगणक अर्थातच पार पाडतो.

या सर्व प्रकारांत घडते ते असे की गणित सुटते ते वजाबाकीचे, पण कृती करावी लागते ती फक्त बेरजेचीच ! वीजसरण्यांच्या रचनेच्या सोयीच्या दृष्टीने संगणकात हे फार उपयुक्त ठरते.

१, ११, १११....यातून संबंधित संख्या वजा करून (प्रत्यक्षांत उलटापालटीच्या कृतीने) काढलेल्या तिच्या पूरक संख्येला 1's complement म्हणतात. आपण तिला संक्षेपाने ' १ ची पूरक ' म्हणू. ही मिळवल्यानंतर डावीकडचा जादा उजवीकडे आणून मिळविण्याची end-around carry ची जरूरी असते व या दुसऱ्या साध्या बेरजेकरताही स्वतंत्र सरण्या बसवाव्या लागतात. याच्या उलट, १०, १००, १०००.... (म्हणजेच द्विमान पद्धतीत २, ४, ८....) यातून वजाबाकी करून काढलेल्या पूरक संख्येला 2's complement म्हणतात. तिला ' २ ची पूरक ' म्हणणे रास्त होईल. ही पूरक संख्या ' १ च्या पूरक ' संख्येपेक्षा मुळातच १ ने भारी असते व ही वापरल्यास end-around carry या बेरीज-कृतीकरता वीज-सरण्या बसवाव्या लागत नाहीत. वेगवेगळया संगणकांत या दोनपैकी कोणती तरी रीती अवलंबिलेली असते.

' पूरक संख्या वापरून करावयाच्या वजाबाकीच्या रीती 'ला यापुढे संक्षेपाने 'पूरक रीती ' म्हणू. ही रीती अवलंबिल्यास केवळ बेरजेने (अर्थात बेरजेची कृती घडविणाऱ्या वीजसरण्यांनी) काम भागते हा एक मोठाच फायदा झाला. आणखी एक महत्त्वाचा फायदा या रीतीमुळे प्राप्त होतो, त्याची माहिती पुढे दिली आहे:—

मोठया संख्येतून लहान संख्या वजा जाते, पण लहान संख्येतून मोठी वजा घालवलीच तर उत्तर ऋण, अर्थात उणे चिन्ह असलेले, Negative, असते हे आपण जाणतो, व प्रत्यक्ष कृती करताना ' मोठीतून लहान ' अशीच वजाबाकी करून उत्तरामागे मात्र उणे चिन्ह (–) लिहितो. आपणास जाणीव, तारतम्य असल्याने आपण हे काम व्यवस्थित करतो, पण जडस्वरूप संगणकास हे कसे जमायचे ? दोन संख्यांपैकी लहान कोणती व मोठी कोणती याचे निर्धारण, त्याच्या रीतीने का होईना, संगणकाने कसे करावयाचे? पुढे दर्शविल्याप्रमाणे संबंधित (दोन) संख्यांमध्ये वजाबाकी घडवून व तीही पूरक रीतीने घडवून त्याला हे साध्य होते :

समजा १५ व १० या संबंधित संख्या आहेत. प्रथम १५–१०=५ ही वजाबाकी पूरक रीतीने करू—

```
    ११११          ( १५ )
 +  ०१०१          दहा ( १०१० ) ची पूरक संख्या
 ---------
   १०१००
   |
   →+१
 ---------
    ०१०१          ( ५ हे उत्तर )
```

या उदाहरणातील संख्यांकरता वास्तविकपणे चार पेक्षा अधिक स्तंभ लागत नाहीत; पण पूरक संख्या मिळविल्यानंतर डावीकडे पाचव्या जादा स्तंभात अंक आला;

(अर्थात् तो हातचा १ असून प्रस्तुत कृतीच्या अखेरीस तेथून काढून रीतीप्रमाणे एकं स्थानी मिळवला) केवळ १५, १० या दोन अंकांच्या वजाबाकीतच हे घड शकले असे नाही. मोठीतून लहान संख्या वजा टाकताना हे नित्य घडते. पाहा :—

```
      १५–१४=१                          १५–१=१४
  ११११  ( १५ )                         ११११  ( १५ )
+ ०००१   १४ (१११०)ची पूरक संख्या    +१११०  १ (०००१)ची पूरक संख्या
 १००००                                १११०१
 |→ +१                                 |→ +१
  ०००१  ( १ हे उत्तर )                 १११०  ( १४ हे उत्तर )
```

येथे (१५ तून) वजा जाऊ शकणाऱ्या महत्तम व लघुतम संख्या वजा घालवल्या. सर्वस्वी वेगळ्या दोन संख्या घेतल्या तरी **जादा स्तंभात " १ " येणे** ही गोष्ट मोठीतून लहान संख्या वजा घालवताना घडतेच. पहा :

```
      १०–९ = १
        १०१०   ( १० )
       +०११०   ९ ( १००१ ) ची पूरक संख्या
       १००००
        |→+१
        ०००१             ( १ हे उत्तर )
```

पण सरळ वजाबाकी अशक्य असेल तर, म्हणजेच लहान संख्येतून मोठी संख्या वजा घालवू लागलो तर पूरक रीतीच्या उपयोगाने काय घडते ते पाहा :

$$९–१० = –१ \; ; \; १–१० = –९$$

या दोन टोकांच्या वजाबाकी करू—

```
  १००१   ( ९ )                          ०००१   ( १ )
+ ०१०१   १० (१०१०)ची पूरकसंख्या       +०१०१   १० (१०१०) ची पूरकसंख्या
  १११०                                  ०११०
```

येथे दोन्हींपैकी कोणत्याही उदाहरणात **डावीकडच्या जादा स्तंभात अंक आला नाही !** हा फरक लक्षणीय आहे. असे घडणे, हा लहान संख्येतून मोठी संख्या वजा घालविल्याचाच परिणाम होय. उदाहरणाचे उत्तर ऋण येणार याची ही सूचना होय. दुसरी गोष्ट, डावीकडच्या जादा स्तंभात " १ " हा अंक आला नाही तेव्हा तो उजवीकडे आणून मिळवण्याचा (end-around carryचा) प्रश्नच उद्भवत नाही. तिसरी गोष्ट, आलेली उत्तरे, अनुक्रमे १४ (१११०) व ६ (०११०) ही विचित्र दिसतात. याचे कारण या संख्या उत्तराच्या संख्या नसून यांच्या पूरक संख्या या उत्तराच्या संख्या

होत! १११० ची पूरक ०००१ अर्थात १ हे पहिल्या उदाहरणाचे येथवरचे उत्तर व ०११० ची पूरकसंख्या १००१ अर्थात ९ हे दुसऱ्या उदाहरणाचे येथवरचे उत्तर. यांना उणे चिन्ह (–) लावल्यानंतर अंतिम उत्तरे मिळतात ती अनुक्रमे –१ व –९.

कागदावरील आकडेमोडीने दर्शविलेली उपरोक्त सिद्धी संगणकांत कशी प्राप्त होते हे यथाक्रम कळणार आहे. तूर्त एवढे समजावे की दोन संख्यांमध्ये मोठी कोणती, लहान कोणती याकडे लक्ष न देता त्यावर प्रस्तुत पूरक वजाबाकीची कृती केली तरी आपणांस त्यांमधील भेद स्पष्ट होतो, त्याप्रमाणेच संगणकामध्ये ही पूरक वजाबाकीची कृती घडल्याने त्याला तो भेद प्रतीत होतो. याचा इत्यर्थ हा की, संगणक हाताळू शकेल अशा कोणत्याही दोन संख्यांमधून तो ' लहान कोणती ? मोठी कोणती ? ' याचा निर्णय, हे पूरक वजाबाकीचे तंत्र वापरून करू शकतो. ही त्याची क्षमता (power of comparison) एक महत्त्वाचा गुण होय.

द्विमान गुणाकार : द्विमान पद्धतीने गुणाकार कसा केला जातो ते आता पाहू. गुणाकार हा मूलतः पुनःपुनः केलेली बेरीजच आहे. गुण्य संख्या गुणक संख्येइतक्या वेळा (किंवा, गुणक संख्या गुण्य संख्येइतक्या वेळा) मांडून बेरीज करायची हा गुणाकाराच्या कृतीचा आशय असतो अगदी सुरुवातीला तयार झालेल्या संगणकांमध्ये याप्रमाणे कृती होत असे. पण आताची प्रस्थापित पद्धती, आपण करतो त्या नेहमीच्या गुणाकाराच्या पद्धतीसारखीच आहे; ती म्हणजे– गुणक संख्येतील अंकांनी गुण्य संख्येला गुणून आलेले गुणाकार एकाखाली एक, पण दर पुढचा गुणाकार एक स्थान डावीकडे सरकवलेला असा मांडावयाचा व नंतर या आंशिक (partial) गुणाकारांची बेरीज करायची. द्विमान पद्धतीत हे सर्वच काम सोपे होते; कारण गुणक अंक " १ " असेल तर त्यामुळे आलेला गुणाकार म्हणून गुण्य संख्या पुनः तशीच मांडायची, व गुणक अंक " ० " असेल तर काहीच मांडायचे नाही, मात्र नंतरच्या अंकाने (जर तो अंक "१" असेल तर) गुणून आलेला गुणाकार आपली एक घर डावीकडे सरकून मांडण्याचे अवधान ठेवायचे, एवढेच करावे लागते. गुणक संख्येत लागोपाठ अधिक शून्ये असतील तर त्यानंतरचा येणारा गुणाकार तितकी अधिक घरे सोडून लिहायचा हे ओघानेच आले.

पण या रीतीतही वरवर न दिसणारी एक अडचण येते. बेरीज करावयाच्या अंकांच्या एखाद्या स्तंभात " १ " हा अंक तीनपेक्षा अधिक वेळा आला तर ' हातचा ' एकच न येता अधिक ' हातचे ' येऊ शकतात; आणि दोन किंवा दोनपेक्षा अधिक ' हातचे ' आले तर त्यांचे होणारे पक्के हातचे, निकटच्या डाव्या स्तंभाच्या बेरजेतच नव्हे तर पलिकडच्या-पलिकडच्या स्तंभांच्या बेरजांत मिळवणे आवश्यक ठरते. ही अडचण टाळण्याकरता, दोन आंशिक गुणाकार हाती येताच त्यांची बेरीज उरकून टाकायची व तीत क्रमाने पुढचे गुणाकार मिळवत राहायचे, ही युक्ती द्विमान पद्धतीत अवलंबिली जाते. खालील उदाहरण पाहावे :—

```
  ५३                     ११०१०१
× ३९                   × १००१११
                          ११०१०१ — पहिला आंशिक गुणाकार
                         ११०१०१· — दुसरा    ,,    ,,
                        १००११११११ — बेरीज
                       ११०१०१·· — तिसरा    ,,    ,,
                      १०१११००११ — बेरीज
                    ११०१०१··· · — चवथा    ,,    ,,
२०६७              १००००००१००११ — अंतिम बेरीज
```

द्विमान भागाकार– द्विमान भागाकाराच्या बाबतीत दशमान भागाकारांत नसणारी एक महत्त्वाची सुलभता प्राप्त होते; ती म्हणजे— दशमान पद्धतीत भाजक संख्येतील अंकांइतके (किंवा एक जास्त इतके) भाज्य संख्येतील डाव्या टोकाकडूनचे अंक विचारात घेऊन त्या संख्येला भाजक संख्येकडून मोठयात मोठा कितीचा भाग लागू शकेल हे प्रथम अंदाजावे लागते; आणि पुढे त्या भाग लागलेल्या अंकाचा व भाजक संख्येचा गुणाकार त्या संख्येखाली मांडून वजाबाकी करणे इ. क्रिया क्रमाने कराव्या लागतात. द्विमान पद्धतीत या गोष्टींचा प्रश्नच उद्‌भवत नाही, कारण येथे मोठयात मोठा भाग लागणार १ चा! तेवढा लागतो का नाही हे पाहावे लागते. त्याकरिता मग भाजक संख्येतल्याइतक्या भाज्य संख्येतील डावीकडच्या अंकांची संख्या भाजक संख्येइतकी किंवा मोठी असली पाहिजे हे पाहायचे व तसे नसल्यास पहिला भाग ० चा लागला असे धरून भाजक संख्या एक घर पुढे सरकवून लिहायची व वजाबाकीची पुढील कृती करायची. खालील उदाहरणात ही सरक दाखविली आहे—

उदाहरण : १३१ ÷ ३९ (उत्तर : भागाकार ३, बाकी १४)

```
१००१११ ) १००००११ ( ०११ = ३
          १००१११
        ००११०१०१
           १००१११
        ००००१११० = १४
```

कोणताही गुणाकार हा मूलतः बेरीज असतो त्याचप्रमाणे कोणताही भागाकार हा मूलतः वजाबाकी असतो, आणि संगणकांत वजाबाकीसुद्धा पूरक रीती योजून बेरजेच्या कृतीनेच साध्य होते. याचा इत्यर्थ असा की अंकगणिताच्या चारी प्राथमिक कृती बेरजेची कृती करून साधता येतात. संगणकात याप्रमाणे केले जाते. संबंधित संख्यांचे आधी इष्ट तसे परिवर्तन करून व नंतर योग्यरीतीने बेरजेचा प्रयोग करून गणिताचे उत्तर काढले जाते.

प्रकरण : ५

द्विमान अंकगणित—भाग २

द्विमान पद्धतीच्या उपयोगातील सोयी-गैरसोयींची चिकित्सा.

द्विमानांकित दशमान संख्या (Binary Coded Decimals, BCD).

द्विमानांकित संख्यांच्या अंकगटात 'पद्रच्चे सहा' मिळवून बेरीज, वजाबाकी.

'त्रियुत सूत्र' व त्याचा द्विमानांकित अंकगणितात उपयोग.

द्विमान पद्धतीच्या उपयोगातील सोयी-गैरसोयींची चिकित्सा : अंकीय संगणकाच्या कार्यपद्धतीत अंक आणि विजेचे स्पंद यांमध्ये सुसूत्र संबंध असणे हे अत्यावश्यक ठरल्याने याकामी दशमान ऐवजी द्विमान अंकपद्धती स्वीकारावी लागली असा निष्कर्ष मागे काढून दाखविला; व त्याच्या अनुषंगाने थोडेबहुत द्विमान पाटी-गणित आपण अभ्यासले. संगणकाकडून करून घ्यावयाच्या कोणत्याही कामाच्या बाबतीत प्रथम दशमान–ते–द्विमान व अखेरीस द्विमान–ते–दशमान ही परिवर्तने अटळ असल्याचेही स्पष्ट झाले. ही परिवर्तने करण्याच्या ज्या गणिती रीती येथवर सांगितल्या त्या मुख्यत्वे, या दोन पद्धतींच्या परस्पर-संबंधाचा व द्विमान अंकगणिताचा परिचय घडविणाऱ्या होत्या. संगणकाच्या अंतर्भागात परिवर्तन प्रत्यक्ष कसे घडते याचा उल्लेख तेथे नव्हता. खरे म्हणजे आतील भागात वीज आपली कामगिरी कशी पार पाडते हे समजल्याशिवाय याविषयीची कल्पना येणार नाही. आता तिकडे वळू या. तत्पूर्वी तेथे जे अंकगणित पार पडते त्याची धाटणी समजून घेणे इष्ट आहे.

याकरिता, गणित संगणकाच्या सुपुर्द होत असताना व त्याच्या आधी, काय काय घडते याविषयी सांगितलेली माहिती पुनः आठवावी. त्यातून काही महत्त्वाची गोष्ट ध्यानी येणार आहे. छिद्रित पट्टी (punch tape) किंवा छिद्रित कार्ड (punch card) यांच्या द्वारा संगणकाला ज्या दशमान संख्या कळविल्या जातात त्यांचे छिद्रण झालेले असते ते अंकशः झालेले असते. याचा अर्थ, पंच ऑपरेटरने संबंधित संख्येतील पहिल्या अंकाचे बटण (key) दाबताच त्या अंकाचा निर्देश करणारी छिद्रे पट्टीवर पडतात, नंतर पट्टी योग्य तेवढी पुढे सरकते व तिच्यावर दुसऱ्या अंकाची छिद्रे पडतात, आणि

याप्रमाणे पुढे होत राहते. थोडक्यात, समग्र संख्येची म्हणून छिद्रांची काही विशिष्ट रचना असते असे नाही; तर **प्रत्येक दशमान अंकाबद्दल विशिष्ट छिद्ररचना व्हावयाची हीच योजना असते.** (' दशमान अंक ' या दोन शब्दांबद्दल ' दशांक ' हा संक्षेप योजावा हे मागेच सूचित केले आहे, तो यापुढे सोयीप्रमाणे योजूं.)

पुढे, छिद्रित पट्टी (किंवा कार्ड) यांचा संगणकामध्ये प्रवेश होत असताना, त्या त्या दशांकाच्या छिद्रांच्या अनुसार स्पंद–बंद यांच्या विशिष्ट जुळणीची निर्मिती होते. आणि स्पंद = १ व बंद = 0 असा संकेत रूढ असल्याने प्रत्यक्षांत, संबंधित संख्येतील **दशमान अंकांचे** मात्र **द्विमान अंकांत** परिवर्तन होते. या विवेचनाचा इत्यर्थ हा की, दशमान संख्येचे द्विमान संख्येत परिवर्तन होण्यापूर्वी, पहिला टप्पा म्हणून ती संख्या, ' तिचा सांगाडा दशमान, पण तिचे अंक मात्र द्विमान अंकात परिवर्तित झालेले ' अशा मिश्र स्वरूपात संगणकात उपस्थित असते. याकारणें तिला खरीखुरी किंवा निखळ ' द्विमान संख्या ' (Binary Number) म्हणणे योग्य नाही. तिला ' द्विमानांकित दशमान संख्या,' किंवा संक्षेपाने ' द्विमानांकित संख्या ' म्हणणे उचित ठरते. या शब्दांची फोड 'जिचे केवळ **अंक द्विमान** स्वरूपात आहेत ती (दशमान) संख्या' अशी सुलभतेने होते. इंग्रजीत अशा संख्येला Binary Coded Decimal (संक्षेपाने BCD) म्हणतात. संगणकाच्या व्यवहारात कोणत्याही दशमान संख्येला या द्विमानांकित अवस्थेतून अवश्यमेव जावे लागते.

कोणत्या द्विमान अंकांच्या कशा तऱ्हेच्या जुळणीने कोणता दशांक निर्देशित व्हावा या बाबतीत नियम असा काहीही असू शकत नाही. दहा दशांकांकरिता दहा वेगवेगळ्या जुळण्यांची आवश्यकता आहे व प्रत्येक जुळणीत चार द्विमानांक लागतात एवढेच निश्चित आहे. आता, चार द्विमानांकांच्या एकंदर जुळण्या होतात सोळा, व त्यातील दहा निवडल्यानंतर बाकीच्या सहा निरुपयोगी उरतात. यामुळे, सोळापैकी कोणत्या सहा सोडायच्या यावरून, व निवडलेल्या दहापैकी कोणती जुळणी कोणत्या दशांकाची दर्शक समजायची यावरून, या बाबतीत काही लाख वेगवेगळ्या व्यवस्था होऊ शकतात ! प्रकरण ३ मधील तक्त्यात दर्शविलेली 0 ते ९ या अंकांच्या परिवर्तनाची व्यवस्था किंवा सूत्र (code) हे त्या लाखांपैकी केवळ एक सूत्र होय ! पण हे सूत्र इतके स्वाभाविकपणे सुचणारे आहे, की दशमान अंकांचे द्विमान अंकांत परिवर्तन करण्याचे ते एकमेव सूत्र असावे असा समज निर्माण होतो. याकारणे, BCD ही संज्ञा उपरोक्त लाखों सूत्रांपकी कोणत्याही सूत्रास लावण्यास तत्त्वतः हरकत नसली तरी ती प्रायः केवळ त्या तक्त्यात दर्शविलेल्या सूत्रास लावतात. या सूत्रान्वये रचलेल्या चार द्विमानांकांच्या कोणत्याही जुळणीत डावीकडून क्रमाने पहिल्या, दुसऱ्या, तिसऱ्या व चौथ्या स्थानांवर असलेल्या " १ " या अंकाचे मूल्य स्थानमाहात्म्यामुळे क्रमाने ८, ४, २, १ असे असते. ओघानेच या सूत्राला ८–४–२–१ सूत्र (आठ–चार–दोन–एक सूत्र, 8–4–2–1 code) असे नाव पडले. आपण सोयीकरता त्याला **अष्टैक सूत्र** असे नाव देऊ. या नावाची फोड

अशी होऊ शकेल—ज्यातील पहिला शब्द ' अष्ट ' आहे ते, किंवा ज्याचे कडेचे शब्द ' अष्ट ' आणि ' एक ' आहेत ते सूत्र.

आता या सूत्रान्वये मांडलेल्या दशमान संख्येपासून तिचे शुद्ध द्विमान रूप कसे मिळवायचे, किंबहुना संगणकात ते कसे मिळविले जाते हे पाहायचे आहे. याकरिता केल्या जाणाऱ्या कृतीचा आशय असा आहे:— दशमान संख्येतील सर्वात डावीकडच्या अंकाला (स्थानमाहात्म्यामुळे ज्याचे मूल्य सर्वात जास्त असते, त्याला) १० ने गुणायचे; आलेल्या गुणाकारात पुढच्या स्थानावरील अंक मिळवायचा; आलेल्या बेरजेला पुनः १० ने गुणायचे; पुनः पुढचा अंक मिळवायचा........अशी कृती संख्येतील शेवटचा अंक मिळवेपर्यंत करायची; आणि मुख्य गोष्ट, हे अंक, तसेच १० (दहा) यांची द्विमान रूपे या कृतीत वापरावयाची. अंती मूळ दशमानसंख्या द्विमान रूपांत मिळते. उदाहरणाकरता ९७१ (नऊशे एकाहत्तर) ही केवळ तीन-अंकी संख्या घेतली आहे. प्रथम तिची द्विमानांकित मांडणी अशी —१००१ ०१११ ०००१

(९) (७) (१)

नंतर परिवर्तनाची कृती :

```
            १००१   ( ९ )
         × १०१०   (१०)
         --------
            ००००
           १००१
          ००००
         १००१
         --------
         १०११०१०  (९०)
       + ०००१११   ( ७ )
       ----------
         ११००००१   (९७)
       ×     १०१०  (१० )
       ----------
         ११००००१०  } येथे शून्यांचे गुणाकार
       ११००००१     } वगळले आहेत.
       ----------
       ११११००१०१०  (९७०)
     + ०००००००००१  (   १)
       ----------
       ११११००१०११  (९७१)
```

अखेरच्या ओळीत आलेली दहा-अंकी संख्या ही ९७१ चे शुद्ध द्विमान रूप होय

केवळ तीन दशांकांच्या संख्येच्या परिवर्तनाकरता नुसत्या कागदावरचा व्याप एवढा दिसतो तर पंधरा-पंधरा-अंकी संख्यांच्या परिवर्तनाचा व ते परिवर्तन संगणकामध्ये घडविणाऱ्या वीजसरण्यांचा व्याप केवढा असेल व त्यांचे कार्य १०० टक्के बिनचूकपणे पार पडावे असे संचालन करणारी व्यवस्था किती गुंतागुंतीची असेल याची नुसती कल्पनाच करता येईल !

आणखी एक कल्पना करणे जरूरीचे आहे— संगणकास घातलेल्या गणितातील सर्व संख्यांचे याप्रमाणे परिवर्तन झाले व नंतर त्यावर त्यास गणित सोडविण्याच्या म्हणून करावयाच्या त्या गणिती कृती (computation) झाल्या म्हणजे येणाऱ्या द्विमान संख्येचे पुनः दशमान संख्येत परिवर्तन घडून ती उत्तराची संख्या बाहेर पडल्यावरच संगणकाचे काम संपते. हे दुसरे परिवर्तन तर बरच्याच्यापेक्षा किचकट वाटावे असे आहे. त्याच्या कृतीचा नुसता आशयच येथे देत आहे :— उत्तराच्या द्विमान संख्येला दहाने (अर्थात १०१० ने) भागायचे, व उरणारी ४–द्विमानांकी बाकी अंतिम उत्तरातील सर्वांत उजवीकडचा अंक गट म्हणून मांडायची; आलेल्या भागाकाराला दहाने पुनः भागायचे व उरलेल्या बाकीचा ४ द्विमानांकाचा गट मधाच्या बाकीच्या डावीकडे मांडायचा)........आणि ही कृती भाग लागणे अशक्य होईपर्यंत करायची. या कृतीत ' बाकी ' म्हणून संबोधलेल्या अंक-गटांची जी क्रमवार मांडणी येते ते द्विमानांकित रूपात मांडलेले गणिताचे उत्तर होय. वाचकांनी याप्रमाणे भागाकार करून मधाचे ९७१ उत्तर काढण्याची कसरत करून बघावी.

या सर्व प्रकारात, दोन्ही परिवर्तनांच्याकरिता होणारी आकडेमोड ही गणिताच्या सोडवणुकीतला अत्यावश्यक असा भाग तर नसते, पण सोडवणुकीचे सर्व अंकगणित (main computation) हे द्विमान पद्धतीतच व्हावयाचे असल्याने ती पत्करावी लागते. अशा परिस्थितीत, ती मधल्या मुख्य व आवश्यक आकडेमोडीच्या तुलनेने अवजड, दीर्घसूत्री ठरू लागली तर ती गैरसोयीची बाब टाळता आल्यास उत्तम, अशी कल्पना साहजिकच सुचते. संगणकाकडून करून घेतल्या जाणाऱ्या कामाच्या स्वरूपाचा विचार केल्यावर या विधानाची यथार्थता ध्यानी येईल.

संगणकाकडून करून घेतल्या जाणाऱ्या कामाचे ढोबळ मानाने दोन प्रकार पडतात. एक प्रकार शास्त्रीय समस्या व अवघड गणिते यांचा. ही सोडविताना कराव्या लागणाऱ्या गणिती क्रिया (computations) बहुधा अति क्लिष्ट व प्रदीर्घ असतात. मात्र प्रत्यक्ष त्या समस्येच्या किंवा गणिताच्या म्हणून ज्या संख्या संगणकाला सुरुवातीस पुरवाव्या लागतात, त्या तुलनेने थोड्या असतात. या प्रकाराचे उदाहरण द्यायचे झाले तर ते चंद्रावर पाठवायच्या अवकाशयानासंबंधीच्या गणिताचे देता येईल. यानाचे वजन, त्याच्या प्रक्षेपणाकरता लागणारा अग्निबाणाचा प्रेरक, बाणातील इंधनाचे व संपूर्ण बाणाचे सुरुवातीचे वजन, यानाचा क्षणोक्षणी बदलत जाणारा वेग, इ. इ. चे गणित किती क्लिष्ट व प्रदीर्घ असेल त्याची कल्पना करावी. अशा बाबतीत गणितातील संख्यांची दशमान ते द्विमान किंवा उलट परिवर्तने एक वेळ क्षम्य ठरतात, कारण त्या दोहोंमध्ये व्हावयाच्या गणिती कृतींचा व्याप तुलनेने फार फार मोठा असतो.

पण कंपन्यांच्या व्यवस्थापनासंबंधीचे किंवा उद्योग-व्यवसायातील प्रश्नासंबंधीचे असंख्य हिशेब करून घेण्याकरता जेव्हा संगणकास कामास जुंपतात तेव्हा परिस्थिती याच्या उलट असते प्रत्येक हिशेबाचे उत्तर (अधिक असतील तर उत्तरे) काढण्या-

करता करावे लागणारे गणिती काम तुलनेने अल्प व साधे असते. किंबहुना याच कारणाकरिता त्यांना ' गणिते ' याच्याऐवजी ' हिशेब ' म्हटले आहे. दुसरी गोष्ट, असे हिशेब हजारोंनी (क्वचित लाखांनी) करावयाचे असतात आणि एका हिशेबाचा दुसऱ्या हिशेबाशी बहुधा संबंध नसतो. एका हिशेबातल्या संख्या दुसऱ्यातल्यापेक्षा वेगळ्या असतात. पण त्यांवर करावयाच्या गणिती क्रिया बहुधा त्याच त्याच ठराविक असतात. याचा अर्थ, संगणकाने करावयाची ती वेगवेगळी कामे असतात. एखाद्या कंपनीतल्या हजारो कर्मचाऱ्यांचे मासिक हजेरी/गैरहजेरीनुसार काढलेले पगार, भत्ते, फंड, इन्कम् टॅक्स इ. विषयीचे हिशेब या दुसऱ्या प्रकारात मोडतील. अशा परिस्थितीत, प्रत्येक हिशेबातील आवश्यक त्या गणिती कृतीपूर्वी व नंतर संगणकाला करावे लागणारे परिवर्तनाचे काम जर टाळता आले, म्हणजेच, **हिशेबातील संख्या द्विमानांकित अवस्थेत असतानाच त्या इष्ट गणिती क्रियात भाग घेऊ शकल्या व हिशेबाचे उत्तर बरोबर निघाले, तर ती मोठी स्वागतार्ह घटना ठरते !**

प्रत्यक्षात हे शक्य झाले आहे ! दशमान संख्यांचे निखळ द्विमान रूपात परिवर्तन न झाले तरी काम भागावे अशा काही योजना, काही गणिती रीती सिद्ध झाल्या आहेत ! त्यातील एक-दोन रीती आता समजावून घ्यावयाच्या आहेत. त्यांपैकी पहिल्या रीतीची चर्चा ही मुख्यत्वे या ' मधल्या वाटेचे ' (short cut चे) मर्म समजावे म्हणून केलेली आहे :

समजा, दोन दशमान संख्यांची बेरीज व्हावयाची आहे. अशावेळी दोन दोन दशांकांचा एक असे जे स्तंभ होतात त्यातील प्रत्येक स्तंभाऐवजी स्तंभातील खालच्या–वरच्या दशांकाचे निदर्शक असलेले चार चार द्विमानांक लिहून, त्या चार चार स्तंभांचा एक गट अशा व्यवस्थेत संख्यांची मांडणी झालेली आहे. आता अशा परिस्थितीत आपण सरधोपट द्विमान बेरीज करू लागलो तर घोटाळा होईल हे अपेक्षितच आहे. खालील उदाहरणावरून हे ध्यानी येईल.—मघाच्या उदाहरणातील ९७१ मध्ये मिळवण्याकरता येथे २३४ (दोनशे चौतीस) ही संख्या घेतली आहे.

साधी दशमान बेरीज	संख्या द्विमानांकित (BCD) गटात मांडून त्यांची बेरीज		
९७१	१००१	०१११	०००१
+ २३४	+ ००१०	००११	०१००
१२०५	१०११	१०१०	०१०१
↓	(११)	(१०)	(५)
१२०५	११११०५		

बेरजेतील द्विमानांकित गटांचे पुनः दशांकांत परिवर्तन केल्यावर ११११०५ (अकरा हजार एकशे पाच) ही संख्या मिळते. वास्तविक बेरीज आली पाहिजे १२०५ (एक हजार दोनशे पाच) या घोटाळ्याचे कारण ध्यानी येण्यास फारशी अडचण पडू नये. जेथे कसल्याच ' हातच्या ' अंकाचा प्रश्न येत नाही त्या उजव्या कडेच्या गटाची बेरीज

५ ही बरोबर येते. यावरूनही घोटाळयाचे कारण स्पष्ट होईल. मधल्या गटाची बेरीज आली पाहिजे ० व हातचा १ डावीकडच्या गटाकरता गेला पाहिजे, पण येथे द्विमान अंकगणित वापरले गेले असल्याने व या गटाची आलेली बेरीज १० (दहा) ही १०१० या चार द्विमान अंकात ठीक सामावत असल्याने ती तशीच्या तशी खाली लिहिली गेली आहे. द्विमान गणिताच्या नियमानुसार चार द्विमान अंकांत न मावणारी म्हणजे ' १६ किंवा अधिक ' इतकी बेरीज आली तरच हातचा १ डावीकडे जाणार. त्यामुळे आपले १० जागच्या जागी तसेच राहिले. पण आपणास असे घडावयास हवे आहे की, कोणत्याही गटाची बेरीज ' १० किंवा अधिक ' येताच हातचा १ निघावा व गटाखाली लिहायची ती संख्या बेरजेतून १० वजा करून उरेल ती असावी.

या विश्लेषणावरून इष्ट ते साधण्याची एक युक्ती सहज सुचते, ती अशी :— ' गटाची बेरीज १० किंवा अधिक येत असल्यास तिच्यात पदरचे ६ मिळवावेत व येणारा हातचा १ डावीकडे पाठवून उरेल ती बाकी खाली लिहावची; आणि गटाची बेरीज १० पेक्षा कमी येत असेल तर ही कृती करायची नाही. ' [कोणत्या गटाच्या बाबतीत ही कृती करायची व कोणत्या गटाच्या बाबतीत करायची नाही, याचा निर्णय संगणक कसा करतो हे आताच समजणार नाही. मात्र हा निर्णय करणाऱ्या व त्यानुसार ' ६ मिळवण्याची ' कृती करणाऱ्या वीजसरणीचे काम फार मनोरंजक आहे एवढे येथे सुचवून ठेवणे इष्ट वाटते].

आता उदाहरणातील बेरजेला ही कृती लावू—

९७१ चे द्विमानांकित रूप —	१००१	०१११	०००१
+ २३४ ,, ,, ,, —	+ ००१०	००११	०१००
आली तशी मांडलेली बेरीज —	१०११	१०१०	०१०१
+ पदरचे ६ (०११०) —	+ ०११०	०११०	—
	१ ०००१	१ ००००	०१०१
	१⟵		
दुरुस्त द्विमानांकित बेरीज —	१ ००१०	००००	०१०१
दशमान अंकांत उत्तर —	(१) (२)	(०)	(५)

उत्तर बरोबर आले आहे आणि त्याकरता कृती अत्यल्प करावी लागली ! ९७१ या संख्येचे शुद्ध द्विमान रूप काढण्याची कृती व व्याप आपण पाहिला. उदाहरणातल्या दुसऱ्या संख्येच्या (२३४ च्या) परिवर्तनाकरता तितकाच व्याप पडला असता. नंतरची बेरीज सुलभतेने झाली असती हे खरे; पण बेरजेच्या द्विमान रूपाचे भागाकाराच्या कृतीने दशमान रूपातील १२०५ हे उत्तर काढण्यास पुनः बराच व्याप पडला असता. हे सर्व व्याप टाळता आले आहेत ! वाचकांनी येथे विचार करावा, की हे गणित सुटले ते केवळ द्विमान अंक (Bits) वापरून; म्हणजे स्पंद-बंद यांच्या उपयोगानेच हे काम झाले असणार, पण त्याचबरोबर गणिताच्या सुरुवातीचे व अखेरचे परिवर्तनाचे दीर्घसूत्री काम

मात्र करावे लागले नाही, ही केवढी मोठी सोय झाली !

' पदरचे ६ मिळविण्याच्या ' रीतीसारखीच किंबहुना तिचेच प्रतिचित्र अशी दुसरी रीत योजता येते. या रीतीत विशेष कृती करावयाची ती म्हणजे ' चार चार द्विमानांकांच्या संबंधित दोन गटांची बेरीज १० किंवा अधिक येत असल्यास तिच्यातून १० वजा करायचे, उरेल ती बाकी खाली मांडायची, व हातचा १ डावीकडच्या गटजोडीच्या बेरजेत पाठवायचा ' या रीतीचा आता वेगळा खुलासा द्यायला नको. वाचकांनी या रीतीची उदाहरणे स्वतःच सोडवावी. १० (१०१०) वजा घालवणे म्हणजे तिची पूरक संख्या (०१०१) मिळविणे हे समीकरणही आता सांगण्याची जरूरी नाही. वजाबाकीचे गणित सोडवायला या दोन्ही रीती तितक्याशा सोयीच्या ठरत नाहीत व यामुळे संगणकात या रीतीनुसार काम करणाऱ्या सरण्यांची योजना सहसा करीत नाहीत.

पण आणखी एका अभिनव रीतीनुसार द्विमानांकित संख्यांचे (Binary Coded Decimals चे) गणित सोडविण्याची योजना अनेक संगणकांत सिद्ध असते. या रीतीचे किंवा सूत्राचे नाव **त्रि-अधिक सूत्र** किंवा **त्रियुत सूत्र** असे आहे. इंग्रजीत याला Excess–Three Code म्हणतात. या सूत्राच्या उपयोगाचे कारण किंवा धोरण येथवर विवेचिले तेच आहे. त्याचा पुनरुल्लेख येथे इष्ट वाटतो – दशमान अंकांच्या बेरजेत बेरीज १० किंवा अधिक आली की हातचा १ काढला जातो, तर त्याच अंकांना द्विमान रूप देऊन येणाऱ्या चार–चार द्विमानांकांच्या बेरजेत (म्हणजेच द्विमानांकित बेरजेत, BCD addition मध्ये) बेरीज कमीतकमी १६ आल्यावरच हातचा १ निघतो. या दोन उत्तरात अर्थातच तफावत पडते व ती दूर करून बेरजांचा मेळ बसवणे आवश्यक असते. प्रस्तुत त्रियुत सूत्र वापरून ते साधले जाते. कसे ते आता पाहू.

त्रियुत सूत्र (Excess–Three Code). ' सूत्र ' शब्दाचा अर्थ येथे ' विशेष रीती ' ' विशेष योजना ' किंवा फॉर्म्युला असा करावयाचा. या सूत्रान्वये, मूळ दशमान संख्येतील केवळ अंकांचेच परिवर्तन केले जाते, पण ते अष्टैक सूत्रासारखे नसते; तर, **कोणत्याही दशमान अंकात ३ मिळवून येणाऱ्या अंकाचे नेहमीच्या पद्धतीने (म्हणजेच अष्टैक सूत्रानुसार) जे द्विमान रूप येते, ते या आधीच्या दशमान अंकाचे द्विमान रूप धरले जाते. या सिद्धांताचा उपसिद्धांतही उघड आहे :— कोणत्याही चार द्विमानांकांच्या गटातून ३ (अर्थात ००११) वजा करून येणाऱ्या वजाबाकीने निर्देशित होणारा दशमान अंक हा मूळच्या गटाने निर्देशित होतो, असे समजायचे.** उदा. त्रियुत सूत्रान्वये २ चे द्विमानरूप (म्हणजे २ + ३ = ५ चे द्विमानरूप) ०१०१ हे होय; ०+३ चे म्हणजे ३ चे द्विमान रूप ००११ हे ० चे द्विमानरूप समजायचे ! ०१११ हा द्विमानांकांचा गट (०१११ − ००११ = ०१०० =) ४ या दशांकाचा निदर्शक समजायचा, आपण नेहमी समजतो तसा ७ चा निदर्शक समजायचा नाही. या नव्या सूत्रानुसार परिवर्तन करून दशमान अंकांची जी द्विमान रूपे मिळतात त्यांना ' त्रियुत रूपे ' (Excess–Three forms) म्हणणे रास्त व सोयीचे

ठरते. अशा रूपातील अंकांच्या संख्यांनाही ' त्रियुत मांडणी ' च्या संख्या म्हणणे योग्य ठरते. खाली काही प्रमुख संख्यांची (अ) शुद्ध द्विमान रूपे, (ब) द्विमानांकित (म्हणजे BCD) रूपे, व (क) त्रियुत रूपे दिली आहेत. त्यांची तुलना उद्‌बोधक ठरेल.

दशमान संख्या	शुद्ध द्विमान रूप	द्विमानांकित रूप (BCD)	त्रियुत रूप (Excess–Three)
०	००००	००००	००११
१	०००१	०००१	०१००
२	००१०	००१०	०१०१
३	००११	००११	०११०
४	०१००	०१००	०१११
५	०१०१	०१०१	१०००
६	०११०	०११०	१००१
७	०१११	०१११	१०१०
८	१०००	१०००	१०११
९	१००१	१००१	११००
१०	१०१०	०००१ ००००	०१०० ००११
११	१०११	०००१ ०००१	०१०० ०१००
१२	११००	०००१ ००१०	०१०० ०१०१
१३	११०१	०००१ ००११	०१०० ०११०
१४	१११०	०००१ ०१००	०१०० ०१११
१५	११११	०००१ ०१०१	०१०० १०००
२३४	१११०१०१०	००१० ००११ ०१००	०१०१ ०११० ०१११
९७१	११११००१०११	१००१ ०१११ ०००१	११०० १०१० ०१००

त्रियुत सूत्रानुसार मांडलेल्या संख्यांचे अंकगणित कसे केले जाते हे आता पाहायचे आहे. पण तत्पूर्वी एक महत्त्वाची गोष्ट ध्यानी घ्यावी, की संगणकाच्या कार्यपद्धतीत या सूत्राच्या अमलबजावणीची सुरुवात होते ती, सोडवायच्या गणिताचा (किंवा हिशेबाचा) मजकूर पंच होऊ लागताच होते ! घडते ते असे :—गणितातल्या संख्यांतील अंक जस-जसे पंच होतात तसतशी आपोआप त्यांची त्रियुत रूपेच संगणकांत नियोजित जागी मांडली जातात. म्हणजे यात्रेळचे हे ३ मिळवण्याकरता, संगणकाला बेरजेचे इ. मुद्दाम वेगळे काम करावे लागत नाही. त्याचप्रमाणे, गणित सुटून निघालेल्या त्रियुत रूपांतल्या उत्तराचे परिवर्तन आपोआप होऊन संचालक व्यक्तीला उत्तर दशांकात मिळते. थोडक्यात, या सूत्रानुसार काम करणाऱ्या संगणकातील सरण्यांची रचना व योजना तशी विशेष प्रकारची असते.

या सूत्रावर अधिष्ठित अंकगणितापैकी बेरीज कशी करावयाची ते पुढे सांगितले आहे:– बेरजेचे पुढील दोन प्रकार संभवतात–(अ) गटाच्या बेरजेतून हातचा निघत नाही अशी स्थिती; व (ब) हातचा निघतो अशी स्थिती. या दोन स्थितींकरता कृती करण्याचे

दोन वेगवेगळे नियम आहेत. (अ) प्रकारच्या बेरजेतून ३ वजा करायचे असतात, कारण त्रियुत रूपांतील वरच्या व खालच्या प्रत्येक गटाबरोबर एकेक ३, (म्हणजे एकंदर ६) बेरजेत आलेले असतात. सूत्राप्रमाणे फक्त ३ च अधिक असले पाहिजेत. तेव्हा बेरजेतून ३ वजा करून ती शुद्ध केली जाते. (ब) प्रकारच्या बेरजेत ३ आणखी मिळवायचे असतात ! पण (ब) विषयीचा खुलासा नंतर होईल. प्रथम (अ) ची उदाहरणे पाहू.

५	१०००	— ५ चे त्रियुत रूप
+ २	+ ०१०१	— २ ,, ,, ,,
७	११०१	— हे मात्र ७ चे त्रि + त्रियुत रूप होय; म्हणून त्यातून
	− ००११	— ३ उणे केले; त्यामुळे
	१०१०	— हे आता ७ चे त्रियुत रूप झाले.

एक-अंकी संख्येनंतर आता दोन-अंकी संख्येचे उदाहरण—

२४	०१०१	०१११	— २४ ची त्रियुत मांडणी.
+ ३५	+ ०११०	१०००	— ३५ ची ,, ,, ,,
५९	१०११	११११	— बेरजेच्या प्रत्येक गटाची त्रि + त्रियुत मांडणी,
	− ००११	− ००११	— म्हणून प्रत्येक गटातून ३ वजा केले,
	१०००	११००	— ५९ ची त्रियुत मांडणी.

आता (ब) प्रकाराच्या बेरजेचे उदाहरण—

३७	०११०	१०१०	— ३७ ची त्रियुत मांडणी
+ ४५	+ ०१११	१०००	— ४५ ची ,, ,,
८२	१११०	१ ००१०	— आली तशी मांडलेली बेरीज
	− ००११	+ ००११	— डावीकडच्या गटातून हातचा निघत नसल्याने ३ वजा केले व उजवीकडच्या गटातून हातचा निघत असल्याने बेरजेत ३ मिळवले.
	१०११	०१०१	— ८२ ची त्रियुत मांडणी.

डावीकडच्या गटातून ३ वजा केले त्याचा खुलासा वर आलाच आहे. उजवीकडच्या गटाच्या बेरजेत ३ मिळविले त्याचा खुलासा असा:—या सूत्राचा अवलंब करून केलेल्या कोणत्याही दोन द्विमानांकी गटांच्या बेरजेत अधिक ६ येतात. ते या बेरजेतही आले; हातचा निघाला याचा अर्थ १६ डावीकडच्या गटात गेले; हातच्याबरोबर १० डावीकडे जावेत हे तर आपले अभीष्ट आहे; तेव्हा हे १० व बेरजेत आलेले (त्रि + त्रि) ६ निघून गेले असे समजता येते. म्हणजे बरोबर फिटंफाट झाली आहे. आलेली बेरीज

(दशांकांत यावयाचे ते) अंतिम उत्तर आहे. पण गणिताच्या सर्व क्रिया पूर्ण होईपर्यंत सर्व अंक त्रियुत रूपांतच राहिले पाहिजेत असे बंधन असल्याने त्या बेरजेत ३ (००११) मिळवणे आवश्यक असते.

हे सूत्र वापरून मांडायच्या द्विमानांकित संख्यांचे व त्यांची बेरीज कशी करावी याचे मर्म आपणांस समजले. आता येथवर नमुन्याच्या उदाहरणांत घेतलेल्या संख्यांची बेरीज खाली दिली आहे :

```
  ९७१                  ११००       १०१०       ०१००
+ २३४                + ०१०१       ०११०       ०१११
 ----             ----------------------------------
 १२०५           १←|        १←|
                     १  ००१०    १  ००००      १०११
        + ००११   +  ००११    +  ००११     – ००११
        ------------------------------------------
          ०१००       ०१०१       ००११        १०००
            १          २          ०           ५
```

सर्वांत डावीकडे सहस्रस्थानच्या गटात आलेला हातचा १ हा असंस्कारित होता. त्रियुत सूत्राच्या नियमानुसार त्यातही ३ (००११) मिळवणे अवश्य ठरते, ते येथे केले आहे. अंतिम दशमान उत्तर मिळताना, ते प्रत्येक गटातून ३ वजा होऊनच मिळते; कडेच्या या विशेष गटातूनही ३ वजा होऊनच उत्तर निघेल.

त्रियुत वजाबाकी. वजाबाकीचे काम पूरक रीतीने, म्हणजे बेरजेची कृती करून होऊ शकते हे आपणास माहीत झाले आहे, आणि त्रियुत बेरजेच्या कृतीचा सर्व खुलासा वर झाला आहे; तेव्हा त्रियुत वजाबाकी सहज करता येईल. दोन दशांकांच्या बेरजेतून ज्यावेळी ' १० चा हातचा ' निघतो, त्याच वेळी ती बेरीज त्रियुत सूत्र वापरून केल्यास ' १६ चा हातचा ' कसा निघतो व त्या दोहोंतील तफावत आपोआप कशी दूर होते हे वर सांगितले आहे. हे शक्य झाल्यामुळे मग वर उल्लेखलेल्या शेजार-शेजारच्या गटांमध्ये ' हातच्या 'ची जी देवघेव होते, तिच्याकडे लक्ष देण्याची जरूर राहात नाही. संख्यांच्या संपूर्ण बेरजेतून सर्वांत डाव्या टोकाला जर हातचा १ निघाला तर तेवढाच १ उजवीकडच्या टोकास आणून मिळवावयाचा (end-around carry करायचा) असतो. गटागटांच्या बाबतीत end-around carry करावे लागत नाही. खाली मघाच्याच उदाहरणातील दोन संख्यांची वजाबाकी करून दाखवली आहे.

९७१–२३४ = ७३७. येथे दशमान वजाबाकीही पूरक रीतीने करून दाखविली आहे. त्यातील हेतू नंतर ध्यानी येईल. ९७१ मध्ये २३४ ची पूरक संख्या ७६५ (९९९–२३४=७६५) मिळविली आहे. इ. इ.

दशमान पूरक वजाबाकी	त्रियुत पूरक वजाबाकी			
९७१	११००	१०१०	०१००	— ९७१ ची त्रियुत मांडणी
+ ७६५	+ १०१०	१००१	१०००	— २३४च्या त्रियुत रूपांतील संख्येच्या पूरक संख्येची मांडणी
१ ७३६	१ ०११०	१ ००११	११००	
→+१	१← [हातचा]	१← [हातचा]		
७३७				
	१ ०१११	००११	११००	-- आली तशी मांडलेली बेरीज
	+००११	+००११	-००११	— नियमानुसार ३ मिळविणे, वजा करणे इ.
	१०१०	०११०	१००१	— दुरुस्त बेरीज
			→ + १	— डाव्या टोकाचा हातचा आणून मिळविला (end around carry)
	१०१०	०११०	१०१०	— उत्तराची त्रियुत मांडणी
	७	३	७	— उत्तर

येथे २३४ च्या त्रियुतरूपातील मांडणीची पूरक द्विमानांकित मांडणी करताना एक मजेदार गोष्ट ध्यानी आली. ती म्हणजे, ही मांडणी आणि ७६५ ची त्रियुत मांडणी यात काहीचाही फरक नाही ! आणि ही गोष्ट प्रस्तुतच्या २, ३, ४ या अंकांच्या बाबतीतच नव्हे तर सर्व दशमान अंकांच्या बाबतीत खरी असल्याचे पाहणीवरून ध्यानी येईल. याचा अर्थ असा की **कोणत्याही दशांकाच्या पूरक अंकाची त्रियुत मांडणी आणि त्या दशांकाच्या त्रियुत रूपांमधील द्विमानांकांच्या पूरकांची मांडणी या एकच असतात !** हे सत्य दर्शविण्याकरताच ७६५ या २३४ च्या पूरक संख्येचा उल्लेख हेतुतः येथे आणला. ही सोय आणि विशेष गुणवत्ता त्रियुत सूत्रास लाभते तशी इतर सूत्रांस (उदा. अष्टैक सूत्रास) लाभत नाही. या गुणवत्तेला इंग्रजीत Self-complementing असे म्हणतात.

त्रियुत सूत्र उपयोजून मोजक्या टप्प्यात सर्व द्विमान अंकगणित कसे आवाक्यात येते ते आता उमगले असेल. दशमान संख्या द्विमानांकित करण्याची याच तऱ्हेची आणखी काही सूत्रे आहेत, पण त्यांमध्ये सोयीबरोबर काही उणीवा आहेत. त्रियुत सूत्र हे तुलनेने फार उपयुक्त ठरते व अनेक संगणकांत या सूत्रानुसार काम चालण्याची योजना असते.

प्रकरण ३,४ व प्रस्तुत प्रकरण यात आपण द्विमान अंकगणिताचा आवश्यक तेवढा अभ्यास केला. स्पंद-बंद यांच्याशी मेळ बसून गणिती क्रिया शक्य व्हाव्यात याकरिता द्विमानपद्धती कशी अनिवार्य आहे ते आधी पाहिले. पण ती पद्धती जशीच्या तशी वापरण्यापेक्षा तिच्यात जी एक सुधारणा– मधली वाट– शक्य आहे ' की सर्व अंकगणित द्विमान व्हावयाचे, पण संख्या दशमानच ठेवायच्या ' त्या मधल्या वाटेचा अभ्यास प्रस्तुत

प्रकरणात केला. द्विमान पद्धती (Binary System), द्विमान अंकगणित (Binary Arithmetic) व प्रस्तुतचे द्विमानांकित अंकगणित (Binary–Coded–Decimals Arithmetic) या गोष्टी तशा अवघड मुळीच नाहीत. पण आपणास त्या अपरिचित होत्या. त्यामुळे, काही ठिकाणी हा अभ्यास कंटाळवाणा झाला असण्याची शक्यता आहे. त्यातही, या अभ्यासातील काही बाबींचा संबंध पुढे संगणकातील विजेच्या कामगिरीशी जोडून दाखवायचा असल्याने, त्या बाबी तपशिलाने व पुनरुल्लेखाने सांगणे क्रमप्राप्त झाले; आणि प्रामुख्याने ही ठिकाणे कंटाळवाणी झाली असतील असा अंदाज आहे. **पण, सुज्ञ वाचक, हे सर्वच ज्ञान आपणास नवीन असल्याने व संगणकाच्या कार्यपद्धतीचे स्थूल स्वरूपाचे का होईना पण मर्म आपणास समजून घ्यावयाचे असल्याने येथे यापरता इलाज नव्हता.**

आता, या गणिती कृतींमध्ये वीज आपल्यापरीने कसा भाग घेते याचा अभ्यास सुरू करायचा आहे. हे ज्ञानही सर्व नवीनच आहे, पण फार मनोरंजक आहे अशी ग्वाही येथे देतो.

प्रकरण : ६

वीजप्रवाहाच्या नियंत्रणाची साधने – भाग १

साधे दांडीचे स्विच

व्हॅक्युअम ट्यूब किंवा व्हाल्व्ह

वीजकर्षुकीय स्विच

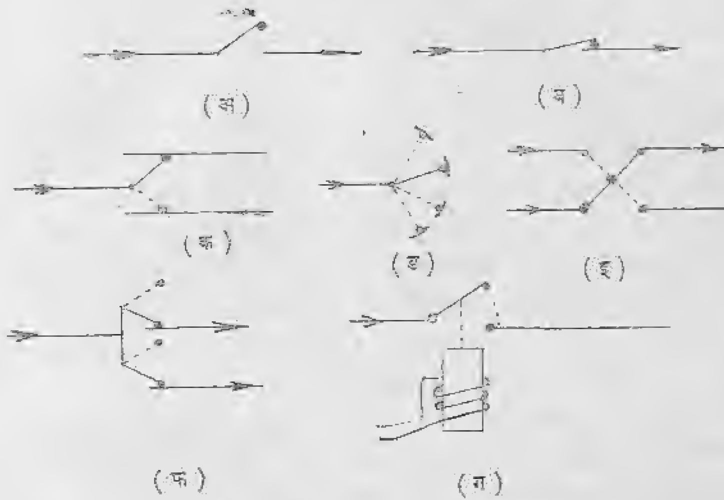
येथवरच्या विवेचनात, अंक, अंकांच्या बनलेल्या संख्या व त्यावरील गणिती प्रक्रिया यांचे स्वरूप आपण समजावून घेतले; " १ " व " ० " या दोनच अंकानी सर्व गणिती जगत् कसे आवाक्यात येऊ शकते हे पाहिले; आणि, विजेचा 'प्रवाह' व 'प्रवाहबंद' या दोन संकेतांनी हे दोन अंक व्यक्तविता येतील ही वरील वस्तुस्थितीला पूरक अशी गोष्ट गृहीत धरली. आता हे गृहीत सत्य कृतीत कसे उतरते ते पाहायचे आहे. हा पुष्कळच तपशिलाचा विषय आहे. गृहीत सत्य हे या बाबतीतले अगदी प्राथमिक सत्य आहे. या व पुढील प्रकरणात यासंबंधीचे विवेचन येणार आहे. प्रथम 'स्विच' या साधनाची माहिती करून घेऊ,

साधे स्विच. विजेचा प्रवाह सुरू करण्याकरता किंवा चालू असलेला बंद करण्या-करता 'स्विच' चा उपयोग केला जातो, हे आपणास माहीत आहे. स्विचचे विविध प्रकार व त्यांद्वारा होणारी वेगवेगळी कामे यांची माहिती खाली सांगितली आहे. प्रथम, आकृतींच्या आधारे वेगवेगळ्या कामगिऱ्या पार पाडणारे साधे (दांडीचे) स्विच वर्णिले आहेत. आकृती ६.१ पाहावी.

साधा स्विच हा वीजसरणीच्या–प्रवाहमंडलाच्या–आराखड्यात संकेताने (अ) व (ब) मधल्याप्रमाणे दाखवितात. तो (ब) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे जुटलेला * अर्थात् लागलेला (closed) असल्यास प्रवाहमंडल पूर्ण होऊन त्यातून प्रवाह वाहतो, आणि (अ) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे 'सुटलेला' * (open) असल्यास मंडल खंडित

* स्विचच्या बाबतीत इंग्रजीतील clsoed आणि open या शब्दांना 'बंद' आणि 'उघडलेला' असे मराठी शब्द वापरल्यास एक अकारण विरोधाभास निर्माण होतो. स्विच व प्रवाह यांचे वर्तन परस्परविरोधी असल्याचा आभास निर्माण होतो,

[पुढील पानावर पहा.]



आकृती ६·१ साध्या स्विच्च्या प्रकारांची सांकेतिक चित्रे

(अ) सुटलेला (off) स्विच्, (ब) जुटलेला (on) स्विच्, (क) दुजुटी (double-throw) स्विच्, (ड) बहुजुटी (multi-th ow) स्विच्, (इ) दोन तारांतून येणाऱ्या वीजप्रवाहांचे नियंत्रण करणारा दुजुटी स्विच्, (फ) द्वि-अग्र स्विच्. याच्याप्रमाणेच बहु-अग्र स्विच् असू शकतो, (ग) रिले स्विच् (टप्प्याचा स्विच्).

राहिल्याने प्रवाह बंद असतो ही परिचित गोष्ट आहे. (क), (ड), (इ), (फ ,) या बाकीच्या प्रकारांची माहिती, त्यांच्या आकृत्या व त्यांखालील वर्णने यांच्या साह्याने सहज होईल.

विजेने कार्यान्वित होणारा 'रिले' किंवा टप्प्याचा स्विच : (ग) मधील रिले स्विच हा येथवर सांगितलेल्या स्विचची एक सुधारित आवृत्ती म्हणता येईल. यामध्ये एका स्वतंत्र वीजप्रवाहाच्या साह्याने स्विचमधील वीजकर्षुक (electro-magnet) कार्यप्रवण केला जातो व तो स्विचमधील लोखंडाच्या दांडीची हालचाल घडवितो, की ज्यामुळे मुख्य वीजप्रवाहाचे नियंत्रण होते.

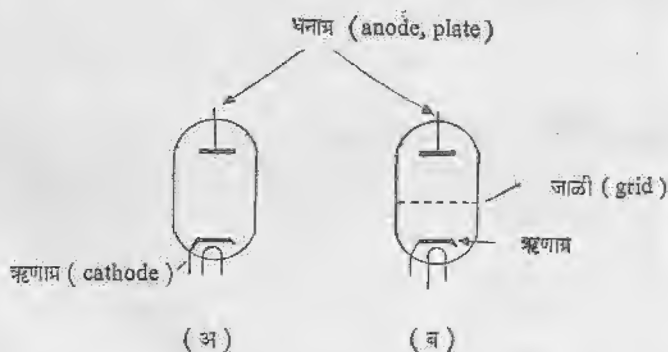
[मागील पानावरून चालू]

म्हणजे, स्विच ' बंद ' असताना प्रवाह ' चालू ' व स्विच ' उघडलेला ' असताना प्रवाह ' बंद ' होतो, असे म्हणावे लागते. तेव्हा वरील इंग्रजी शब्दांना अनुक्रमे ' जुटलेला ' आणि ' सुटलेला ' हे योग्य प्रतिशब्द ठरतात. हे शब्द वरील इंग्रजी शब्दांच्या कोशगत अर्थांशीही जुळते आहेत. एक गोष्ट सत्य की स्विचच्या फक्त दोनच स्थिती असू शकतात व त्यानुसार प्रवाहाच्याही दोनच स्थिती संभवतात—' चालू ' किंवा ' बंद '.

खटके व स्प्रिंग वापरून सिद्ध केलेले हे स्विच म्हणजे वीजप्रवाहाच्या नियंत्रणाची यांत्रिकी (mechanical) साधने होत. आधी वर्णिलेल्या स्विच प्रकारांना नुसते mechanical म्हणता येईल, तर ' रिले ' स्विचला electro-mechanical म्हणता येईल एवढेच. संगणकात व्हावयाच्या कामाच्या दृष्टीने ही साधने मुळीच सोयीची नाहीत. कारण, संचालक व्यक्तीचा निर्णय होऊन तिने (अमुक) स्विच दाबावयाचा या गोष्टीला वेळ लागेल तो सोडला, तरी, ' खटका दाबताच प्रवाहात परिवर्तन होते, म्हणजे परिवर्तनाची क्रिया ही तत्काल–instantaneous–घडणारी आहे ' असे आपण जे समजतो तेही, विजेच्या केवळ घरगुती वापराच्या दृष्टीनेच खरे म्हणता येणारे आहे. स्विचची दांडी एका स्थितीपासून दुसऱ्या स्थितीपर्यंत जाईपर्यंत जो वेळ लागतो, तो घरगुती बाबतीत नगण्य असतो, पण संगणकाच्या कार्यांच्या मानाने प्रदीर्घ ठरतो. काही दशलक्षांश सेकंदात जे काम व्हायला हवे, (आणि संगणकात ते त्याप्रमाणे घडते !), त्याला काही सहस्रांश सेकंद लागणार असतील तर ते काम हजारपट विलंबाने केल्यासारखे होईल ! संगणकाच्या कार्यात हा विलंब परवडणार नाही. तेथे वीजप्रवाहाचे उपरोक्त विविध प्रकारे नियंत्रण करणारे स्विच अवश्य लागतात, ते लाखांच्या संख्येने लागतात, पण त्यांची सूट-जूट मात्र विजेच्याच वेगाने व्हावी लागते. त्यांमध्ये अर्थातच कोणतेही यांत्रिकी भाग नसतात त्यांची माहिती आता करून घेऊ.

थर्मिऑनिक व्हाल्व्ह

बीजकीय (electronic) स्विचचा पहिला प्रकार म्हणजे ' थर्मिऑनिक व्हाल्व्ह. ' (यालाच व्हॅक्युअम् ट्यूब असेही म्हणतात). घरातील रेडिओच्या अंतर्भागात विजेच्या दिव्यासारख्या पण लहान आकाराच्या काचेच्या कुप्या बसविलेल्या आपण पाहिल्या असतील. ते घटक म्हणजे ' व्हाल्व्ह ' होत. अशा व्हाल्व्हचे ' स्विच ' म्हणून



आकृती ६·२ **थर्मिऑनिक व्हाल्व्ह (व्हॅक्युअम् ट्यूब)**
(अ) द्वि-अग्र व्हाल्व्ह (डायोड), (ब) त्रि-अग्र व्हाल्व्ह (ट्रायोड).

वापरण्यात येणारे जे प्राथमिक स्वरूप असते त्याचाच फक्त येथे विचार करावयाचा आहे. याच्या रचनेत आकृती ६·२ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे काचेच्या निर्वात कुपीत दोन वीज-अग्रे (electrodes) बसविलेली असतात. त्यातील एक, घरगुती विजेच्या दिव्या तील फिलॅमेंट् तारेसारखे स्वतंत्र विद्युत् प्रवाहाने तापविले जाते. ते तापताच त्यातून त्याच्या अणु-रेणूंमधील वीजक (electrons) म्हणजेच ऋणविद्युत्भारित असे सूक्ष्मतम कण बाहेर पडतात. (यांचा बाहेर पडण्याचा वेग, संख्या इ. त्या अग्राच्या तपमानावर अवलंबून असतात.) या अग्राला यथार्थतेने व्हाल्व्हचे ऋणाग्र (cathode) म्हणतात. दुसरे उरलेले थंड वीजाग्र हे अर्थातच व्हाल्व्हचे धनाग्र (anode) ठरते. याला प्लेट (plate) अशीही संज्ञा आहे.

ऋणाग्रातून बाहेर पडणाऱ्या वीजकांचा एक ढग त्याच्याभोवती जमतो, व तो जसजसा वाढत जातो तसतसा तप्त अग्रातून अधिकाधिक वीजक बाहेर पडावेत या गोष्टीला विरोध करतो. परिणामी एक संतुलित अवस्था प्राप्त होते, की जीमध्ये अग्रा-तून बाहेर पडणाऱ्या व ढगातून अग्रावर परत येऊन पडणाऱ्या वीजकाची संख्या सारखी होते. (या संतुलित अवस्थेचाही अग्राच्या तपमानानुसार चढउतार होतो.) अशा परिस्थितीत कुपीतील धनाग्रापर्यंत काही थोडे वीजक जाऊन पोचत राहतात व ही धन, ऋण अग्रे बाहेरून तारेने जोडली तर तारेतून अतिक्षीण का होईना पण वीजप्रवाह वाहतो.

पण अग्रांच्या जोडणीने होणाऱ्या या प्रवाहमंडलात–सरणीत–एक विजेरी (बॅटरी) बसविली व तिचे धन अग्र व्हाल्व्हच्या धनाग्राला (प्लेटला) आणि ऋण अग्र व्हाल्व्हच्या ऋणाग्राला जोडले तर या सरणीतील प्रवाह **तत्काल** वाढतो ! यावेळी घडते ते असे :– धनाग्राला धनवर्चस प्राप्त झाल्यामुळे ढगातील वीजक (ते ऋणवीजधारी असल्याने) धनाग्राकडे आकर्षित होतात, तप्त ऋणाग्राच्या पृष्ठावरील त्यांचा प्रतिकारक प्रभाव कमी होतो, ऋणाग्रातून अधिक वीजक बाहेर पडतात व एकंदरीने ते व्हाल्व्हच्या धनाग्राकडे अधिक संख्येने घुसतात. निर्वात कुपीत याप्रमाणे वीजकांच्या प्रवाह प्रस्थापित होतो, व बाहेरच्या सरणीतूनही तो पूर्ण होतो. **वीजप्रवाहाच्या बाबतीत, त्याची दिशा ही प्रत्यक्ष वीजकांच्या** (electrons च्या) **प्रवाहाच्या दिशेच्या उलट असल्याचे संकेताने समजतात.** त्यामुळे प्रस्तुत घटनेत वीजप्रवाह बाहेरच्या सरणीतून कुपीतील प्लेटकडे जातो असे म्हणावे लागते. त्याला ' प्लेट प्रवाह ', ' धनाग्र प्रवाह ' म्हणतात. व्हाल्व्हच्या धनाग्राचे धनवर्चस वाढवावे तसतसे प्लेटप्रवाहाचे मूल्य (एका विशिष्ट मर्यादेपर्यंत) वाढते, व याप्रमाणे ते नियंत्रित होऊ शकते.

आपल्या विवेचनाच्या दृष्टीने येथे महत्वाची गोष्ट घडते ती म्हणजे व्हाल्व्हच्या धनाग्राला पुरेसे धनवर्चस देताच व्हाल्व्हरूपी स्विच जुटतो–अगदी विजेच्या वेगाने जुटतो– व बाहेरच्या सरणीतून तत्काल वीजप्रवाह सुरू होतो !

द्वि-अग्र व्हाल्व्हचे– डायोडचे– आणखी एक वैशिष्टय जाताजाता समजून घेणे आवश्यक आहे. — वरील प्रयोगात विजेरीची अग्रे उलटपलट करून जोडली (म्हणजेच

विजेरीचे धनाग्र व्हाल्व्हच्या तप्त ऋणाग्राला व तिचे ऋणाग्र व्हाल्व्हच्या धनाग्राला जोडले) तर काय घडते ? अशी जोडणी केल्यास व्हाल्व्हमधून आणि अर्थात बाहेरच्या सरणीतून कसलाही प्रवाह वाहात नाही ! म्हणजे विजेरीच्या प्रस्तुतच्या जोडणीने अभिप्रेत असलेल्या प्रवाहाच्या दिशेला प्रतिरोध होतो. याचा अर्थ डायोडमधून फक्त एकाच दिशेने प्रवाह शक्य असतो. यातायाती किंवा उलटसुलट दिशांनी वाहणाऱ्या (alternating) प्रवाहांपैकी फक्त एकाच दिशेत वाहणारे प्रवाहखंड डायोडमधून वाहतात. [द्रव, वायु पदार्थांच्या वाहतुकीत ' फक्त एकाच दिशेने वाहतूक करू देणारी झडप ' हा जो व्हाल्व्ह शब्दाचा अर्थ आहे तो येथेही वीजप्रवाहाच्या दृष्टीने लागू पडतो.]

त्रि-अग्र व्हाल्व्ह (Vacuum Triode). द्वि-अग्र व्हाल्व्हमध्ये आणखी एका अग्राचा समावेश करून जो त्रि-अग्र व्हाल्व्ह–ट्रायोड–सिद्ध होतो त्याची कामगिरी आणखीनच महत्त्वाची आहे. यामध्ये ऋणाग्र व धनाग्र यांच्यामध्ये योग्य अंतरावर एक धातूची जाळी (grid) बसविलेली असते; ती व्हाल्व्हचे तिसरे अग्र होय. सामान्यतः या जाळीचे वर्चस ऋणाग्राच्या वर्चसापेक्षाही अधिक ऋण ठेवलेले असते. त्यामुळे, ऋणाग्रातून बाहेर पडणाऱ्या वीजकांना परत ऋणाग्रावर ढकलून देण्याची तिची प्रवृत्ती असते. परिणामतः, एकंदर किती वीजक बाहेर पडावेत व त्यातले किती धनाग्रापर्यंत पोचावेत, या गोष्टीचे नियंत्रण, ही जाळी अधिक प्रभावीपणे करू शकते. तिची ऋणवर्चसता वाढवावी तसतसा व्हाल्व्हमधून ऋणाग्र–ते–धनाग्र वाहणारा वीजकांचा प्रवाह (म्हणजेच पर्यायाने धनाग्रप्रवाह, प्लेटप्रवाह) क्षीण होत जातो, व जाळीला ऋणाग्राच्या वर्चसाच्या तुलनेने विशिष्ट ऋणतर वर्चस प्राप्त होताच प्रवाह बंद होतो; (cut off होतो).

पण ही सीमेवरची परिस्थिती सोडल्यास, जाळीच्या वर्चसामध्ये जर अल्प चढ-उतार केले, तर त्यांच्या बरोबर प्रमाणात, ती धनाग्रप्रवाहात मोठे चढउतार तत्काल निर्माण करते ! याचा आशय असा की प्रस्तुत त्रि-अग्र व्हाल्व्ह वैजिक स्विचचे काम करतोच पण त्वरेने कमी–जास्त मूल्ये होणाऱ्या वीज–संदेशांचे (variable voltage signals चे) सहिसही प्रमाणबद्ध असलेल्या व विवर्धित स्वरूपातल्या वीजप्रवाहात रूपांतर करतो. या प्रवाहमंडलात इष्ट रोधक बसवून परत विवर्धित पण प्रमाणबद्ध वीजवर्चसे तत्काल उपलब्ध होतात. या विवर्धनाच्या कृतीला amplification म्हणतात.

सुरुवाती-सुरुवातीच्या संगणकामध्ये असे व्हाल्व्ह वापरले जात. (ते एकेका संगणकामध्ये लाखांनी लागतात हे वर सांगितलेच आहे.) पण हे व्हाल्व्ह तीन-चार दृष्टींनी फार गैरसोयीचे होते. एकतर ते किती लहान आकाराचे करावे याला स्वाभाविकच मर्यादा असते; म्हणजे त्यांचा आकार, वजन काहीएक न्यूनतम राहणारच. दुसरी गोष्ट, त्यांची ऋणाग्रे तापविण्याकरता बरीच वीज खर्चावी लागते, आणि यामुळे सभोवतीचा परिसरही अनिष्ट इतका तापतो. प्रत्यक्ष गणिती क्रिया पार पाडणारे असे विजेचे जे प्रवाह किंवा संदेश (signals) संगणकातून वाहावयाचे असतात त्या

संदेशांना वीज लागते ती वेगळीच. ती लागणारच, पण तिच्या कैकपटीने वीज लागते ती व्हाल्व्हची अग्राग्रे तापविण्याकरता ! आणखी एक गैरसोय म्हणजे व्हाल्व्ह हे काचेचे व त्यामुळे नाजूकच असल्याने त्यांची फूटतूट, व त्यामुळे संगणकाचे अचानक निकामी होणे ही भीती उरते. ही तर सर्वांत मोठी गैरसोय म्हटली पाहिजे.

या गैरसोयींवर शास्त्रज्ञ-तंत्रज्ञांना तोडगा हवा होता; तो पुढे मिळाला. व्हाल्व्हचे काम अधिक प्रभावीपणे करणारे वीजकीय घटक सिद्ध झाले. ट्रॅन्झिस्टर हा त्यापैकीच एक होय. ट्रॅन्झिस्टर म्हणजे वर उल्लेखलेल्या त्रि-अग्र व्हाल्व्हचे (triode चे) काम करणारे पण पुष्कळच लहान आकाराचे व अत्यल्प विजेवर चालणारे असे दुसऱ्याच एका प्रकारचे वीजकीय घटकसाधन (electronic component) आहे.

' ट्रॅन्झिस्टर ' हे त्रि-अग्र घटक साधन किंवा त्याच प्रकारातले ' सेमिकंडक्टर डायोड ' हे द्वि-अग्र घटकसाधन हे काय पदार्थ आहेत, त्यांच्या रचना व त्यांचे कार्य कोणत्या शास्त्रीय तत्त्वावर आधारित आहे, याचीही कामापुरती माहिती आपणास करून घ्यायची आहे. पण ती पुढील प्रकरणात सांगितली आहे. आधी, वीजकर्षुक (electro-magnetic) पदार्थांचा उपयोग करून आणखी एका प्रकारचे ' स्विच ' कसे सिद्ध करता येतात ते येथे सांगितले आहे.

वीजकर्षुकीय (electromagnetic) स्विच

वीजप्रवाह व वीजकर्षुक (electromagnet) यांचे परस्परसंबंध आपणास माहीत आहेत. पोलादासारख्या काही कर्षुकशील पदार्थांच्या सन्निध असलेल्या एखादा तारेतून वीजप्रवाह वाहू लागताच त्या पदार्थांमध्ये कर्षुकत्व संचारते किंवा प्रवर्तित होते, (induce होते). हे घडताना होते ते असे की–अशा पदार्थांच्या अब्जावधी, असंख्य अणूंतील केंद्राभोवती फेऱ्या मारणाऱ्या वीजकांच्या (electrons च्या) फेऱ्यांच्या दिशा, ज्या इतस्ततः असतात, त्यांना एकदम जणू शिस्त लागून सर्वांच्या फेऱ्यांची प्रतले समांतर होतात, व फेऱ्यांची दिशा एकच होते; आणि पुनः काही विपरीत घडेपर्यंत ती परिस्थिती तशीच कायम राहते. वीजप्रवाह बंद झाला तरी परिस्थितीत फरक पडत नाही.* एवढेच नाही, तर पुनः त्याच दिशेने प्रवाह वाहू लागला तरी, त्या क्रियेने घडावयाचा बदल एकदा घडला असल्याने परिस्थिती तशीच राहते.

---

* हे झाले टिकाऊ लोहकर्षुकांचे (permanent magnets चे) वर्णन. साध्या लोखंडाच्या (म्हणजे soft iron च्या) तुकड्यावर वीजप्रवाहाचा परिणाम घडून जे कर्षुकत्व संचारते ते तात्पुरते (temporary) असते; वीजप्रवाह चालू असेपर्यंतच ते टिकते. रिले स्विच, विजेची घंटा इ. मध्ये त्याचा उपयोग केलेला असतो. अशा तात्पुरत्या कर्षुकत्वाचा विचार येथे करावयाचा नाही.

पण या दुसऱ्या खेपेला वीजप्रवाहाची दिशा उलटी केली, तर मात्र कर्षक पदार्थांच्या अणूंच्या वीजकांच्या फेऱ्यांची दिशाही उलटी होते. व पदार्थाचे कर्षुकत्वही पहिल्याच्या उलट होते. म्हणजे पहिल्या प्रवाहाने त्या पदार्थाच्या विशिष्ट टोकाला उत्तर-ध्रुवता प्राप्त झाली असेल, तर उलट प्रवाहाने त्याला दक्षिण-ध्रुवता प्राप्त होते. (दुसऱ्या टोकाच्या बाबतीतही आधीच्या ,प्रवाहाने आलेली दक्षिण-ध्रुवता लोप पावून त्यास उत्तर-ध्रुवता प्राप्त होते).

आता, वरील प्रयोगात अशा कर्षुक पदार्थाशेजारी, समजा, दुसरी एक वाहक तार नुसतीच ठेवलेली असेल, तर हे बदल घडत असताना तिच्यातूनही प्रवर्तित प्रवाह (induction currents) वाहतील, आणि त्या प्रवाहांच्या दिशा, त्या कर्षुक पदार्थाची कर्षुकता कोणत्या स्थितीतून कोणत्या स्थितीत बदलते यावर, म्हणजेच पर्यायाने मूळच्या तारेतील प्रवाहाच्या दिशेवर अवलंबून असतील.

या विवेचनाचा निष्कर्ष असा निघाला की हे साधन एक ' स्विच् ' म्हणून वापरता येईल, व त्यातून बाहेर निघणाऱ्या तारेतून इच्छेनुसार वीज वाहवणे शक्य होईल. या साधनाचा उपयोग संगणकाच्या स्मृतिभांडारामध्ये प्रामुख्याने होतो. त्याविषयीची माहिती पुढे येईल. आधी, या प्रकरणात समजून घेतलेल्या व्हॅक्युअम डायोड व व्हॅक्युअम ट्रायोड यांचीच कामे करणारे पण सूक्ष्म आकाराचे असलेले घटक—अर्धवाहक डायोड, आणि अर्धवाहक ट्रायोड (अथवा ट्रॅन्झिस्टर)—यांची माहिती करून घेऊ.

१२३

प्रकरण : ७

वीजप्रवाहाच्या नियंत्रणाची साधने – भाग २

अर्धवाहक मूलद्रव्यांपासून बनविलेले डायोड व ट्रॅन्झिस्टर

विविध पदार्थांची वीजवाहकता.

डायोड व ट्रॅन्झिस्टर हे वीजकीय घटक अर्धवाहक मूलद्रव्यांपासून बनविलेले असतात हे अनेकांना माहीत असेल, पण ती माहिती पूर्ण व उपयुक्त ठरण्याकरता अर्धवाहक मूलद्रव्ये कोणती, तसेच त्यांचे गुणधर्म काय आहेत, हे आधी समजून घेतले पाहिजे.— तांबे, चांदी इ. पदार्थांतून वीज अतिशय सुलभतेने वाहते, म्हणजेच वीजप्रवाहाला त्यांचा रोध अत्यल्प असतो, ही गोष्ट बहुतेकांना माहीत आहे. तांब्याच्या बाबतीत १ चौ. सें. मी. छेदाच्या व १ सें. मी. लांब तुकड्याचा वीजप्रवाहाला होणारा रोध केवळ $१०^{-६}$ (म्हणजे एक दशलक्षांश) ओम्–ohm– इतका अल्प आहे. याच्या उलट काच, लाकूड इ. पदार्थांतून वीज वाहात नाही, असे ढोबळ मानाने म्हणता येते, म्हणजे ते पदार्थ दुर्वाहक–Insulators–आहेत. वरील आकाराच्या काचेच्या तुकड्याचा रोध हा $१०^{१२}$ ओम्स–ohms– इतका प्रचंड असतो! वीज-रोधकतेच्या (पर्यायाने वीज-वाहकतेच्या) बाबतीत दोन टोकांना असणाऱ्या या पदार्थांच्या साधारणतः मध्ये जर्मेनियम्, सिलिकॉन् या अर्धवाहक (semiconductor) मूलद्रव्यांचे स्थान येते. त्यांचा वरील आकाराच्या तुकड्याचा रोध सुमारे १ ते १०० ओम्स असा असतो. (२७° सें. तपमानाला जर्मेनियमच्या उपरोक्त तुकड्याचा रोध ४६ ओम्स असतो).

वीजवाहकता आणि अणुरचना यांचे संबंध

वेगवेगळ्या पदार्थांतील वीज-रोधकतेची, आणि अर्थात् रोधकतेच्या उलट असलेल्या वीज-वाहकतेची अशी विभिन्नता ही यदृच्छया नसते; तर, ते पदार्थ ज्या अणूंचे बनलेले असतात त्यांच्या रचनेवर ती अवलंबून असते. अणुरचनेचे स्वरूप आपल्या परिचयाचे आहे, पण त्याचा व वीजवाहकतेचा संबंध आणि डायोड व ट्रॅन्झिस्टर यांच्या निर्मितीची भूमिका समजून घेण्याकरता त्याचा येथे त्रोटक पुनरोल्लेख करू :—

अणूच्या केंद्रात धनवीजोच्चय असलेले ‘ प्रोटॉन् ’ व त्यांच्या जोडीला वीजोच्चय नसलेले पण प्रत्येकी प्रोटॉन्इतकेच वस्तुमान असलेले असे ‘ न्यूट्रॉन् ’ हे दोन प्रकारचे कण असतात; व या प्रोटॉन्-न्यूट्रॉन् समूहाभोवती त्यांच्या तुलनेने अत्यल्प वस्तुमानाचे, पण प्रत्येकी एका प्रोटॉनवरील इतका, (पण) ऋण वीजोच्चय असलेले असे ‘ इलेक्ट्रॉन् ’ (वीजक) हे सूक्ष्मकण, सूर्यकुलातील ग्रहांप्रमाणे वेगवेगळ्या कक्षांतून फिरत

असतात. कोणत्याही अणूत जितके केंद्रस्थित प्रोटॉन् असतात तितकेच कक्षांतून फिरणारे बीजक (इलेक्ट्रॉन्) असतात. त्यामुळे धन-ऋण विजेची वजावट होऊन अणूवर बीजोच्चय असा शिल्लक नसतो. वेगवेगळ्या मूलद्रव्यांच्या अणूतील बीजकांची संख्या व त्यांची विविध कक्षांत झालेली विभागणी वेगवेगळी असते व या गोष्टींवर त्या त्या मूलद्रव्याचे गुणधर्म अवलंबून असतात; तसेच शेजार-शेजारच्या अणूंच्या कक्षांतील बीजकांची ये-जा झाल्याने भौतिक, रासायनिक क्रिया घडतात.

ग्रहांच्या कक्षांप्रमाणे बीजकांच्या कक्षा एकाबाहेर एक अशा असतात; पण त्या एकाच पातळीत असतात असे नाही; एवढेच नव्हे, तर सर्वात आतली (पहिली) कक्षा सोडल्यास बाहेरच्या कक्षांच्या काही उपकक्षाही असतात. कोणत्या कक्षेत जास्तीत जास्त किती बीजक असू शकतात हे ठरलेले आहे. प्रस्तुत चर्चेच्या दृष्टीने एवढे ध्यानी घेतल्यास पुरेसे आहे की– कोणत्याही मूलद्रव्याच्या बाबतीत सर्वात बाहेरच्या कक्षेत जास्तीत जास्त ८ व तिच्या लगतच्या आतल्या (म्हणजे शेवटकडून दुसऱ्या) कक्षेत जास्तीत जास्त १८ बीजक मावतात.

ज्या मूलद्रव्यांच्या अणूंच्या बाबतीत बाहेरील कक्षा याप्रमाणे पूर्ण भरलेल्या असतात, त्यांच्या बाबतीत शेजारच्या कोणत्याही अणूतील बीजक या कक्षांमध्ये येणे किंवा या कक्षांतील बीजक बाहेर पडणे हे सहसा घडत नाही; व याचा परिणाम असा होतो की ही मूलद्रव्ये रासायनिक दृष्ट्या उदासीन (inert) असतात. यांच्या बाबतीत (आतून बाहेर या क्रमाने धरलेल्या) कक्षांतील बीजकांच्या संख्या सांगायच्या तर हेलियम २, निऑन २–८, अर्गान २–८–८, क्रिप्टॉन् २–८–१८–८ अशा असतात. याच्या उलट तांबे व चांदी या अणूंच्या कक्षांत अनुक्रमे २–८–१८–१ व २–८–१८–१८–१ या संख्यांनी बीजक असतात. अशा परिस्थितीत, त्या प्रत्येकाच्या शेवटच्या कक्षेतला एकेकटा बीजक हालचालीस व शेजारच्या अणूंच्या अंतिम कक्षेत शिरण्यास मोकळा राहतो, व परिणामतः या धातूंच्या शेजार-शेजारच्या अणूंतील बीजकांची वाहतूक सुलभतेने होते. पण बीजकांची वाहतूक म्हणजेच पर्यायाने विजेची वाहतूक असल्याने हे धातू विजेचे सुलभवाहक (good conductors) ठरतात !

काच, लाकूड हे पदार्थ मूलद्रव्ये नव्हेत. त्यांच्या रचनेत ज्या संयुगांचा अंतर्भाव असतो ती संयुगे अत्यंत अस्ताव्यस्तपणे शेजारी-शेजारी बसविली गेलेली असतात, व त्यांमधून थोड्याशाही बीजकांचा प्रवाह शिस्तशीर असा वाहू शकत नाही. अर्थातच हे पदार्थ विजेचे दुर्वाहक (bad conductors) असतात.

अर्धवाहकांचे गुणधर्म

हे विवेचन पुढील तुलनेकरता ध्यानी ठेवून आपल्या दृष्टीने महत्त्वाच्या अशा 'अर्धवाहकांचा' (semiconductors चा) आता विचार करू. सिलिकॉन् व जर्मेनियम या अर्धवाहक मूलद्रव्यांच्या अणूंत अनुक्रमे १४ व ३२ बीजक असतात. सिलिकॉन्च्या अणूच्या कक्षांत २–८–४ असे तर जर्मेनियम्च्या अणूच्या कक्षांत २–८–१८–४

असे वीजक असतात. थोडक्यात, या प्रत्येक अणूच्या बाहेरच्या कक्षांत नेमके ४।४ वीजक असतात! यामुळे घडते ते असे :— सिलिकॉनच्या (किंवा जर्मेनियमच्या) स्फटिकांतील प्रत्येक अणूची प्रवृत्ती ही त्याच्या शेजारच्या चार अणूंच्या बाहेरच्या कक्षांतील एकेका वीजकाला आपल्या स्वतःच्या बाहेरच्या कक्षेत खेचून घेऊन ती ८ वीजकांनी युक्त–म्हणजे परिपूर्ण करण्याची असते; यामुळे सर्वच अणूंच्या बाहेरच्या कक्षांतील वीजक हे परस्परांशी सामायिक (covalent) आकर्षणाने बांधल्यासारखे असतात, व आपापल्या स्थानापासून भ्रष्ट होऊन वीजकांच्या मोठ्या व सुरळित प्रवाहाला ते कारणीभूत व्हावेत अशी परिस्थिती नसते. (किंबहुना शुद्ध जर्मेनियमचा स्फटिक दुर्वाहकच असतो.) मात्र हे स्फटिक तापविल्यास उष्णतेमुळे सामायिक आकर्षणाचे बंध तुटून काही सुटे वीजक स्थलांतराला उपलब्ध होतात व स्फटिकांची वाहकता वाढते.

पण हे झाले या पदार्थांच्या नैसर्गिक गुणधर्माचे वर्णन. या स्फटिकांची वाहकता वाढविण्याचे आणखी जे दोन उपाय संशोधिले गेले आहेत, ते आपल्या दृष्टीने महत्त्वाचे आहेत; ते आता समजावून घेऊ. विवेचनाचे उद्दिष्ट ते आहे.

समजा, जर्मेनियममध्ये (किंवा सिलिकॉनमध्ये) दुसऱ्या अशा मूलद्रव्याची भेसळ करायची, की ज्याच्या अणूच्या शेवटच्या कक्षेत ५ वीजक असतात! फॉस्फरस, ॲन्टिमनी, अर्सेनिक ही अशी द्रव्ये आहेत. अर्सेनिक हे मूलद्रव्यांच्या क्रम-तक्त्यातील जर्मेनियमच्या पुढचेच मूलद्रव्य असून त्याच्या अणूतील वीजकांच्या कक्षांत २–८–१८–५ असे वीजक असतात. अर्थात सर्वांत बाहेरच्या कक्षेत ५ वीजक असतात. आता अशा फॉस्फरसचा अणू जर्मेनियमच्या (किंवा सिलिकॉनच्या) अणूंच्या चौकटीत (crystal lattice मध्ये) बसवला गेला म्हणजे त्याचेही बाहेरच्या कक्षेतील ५ पैकी ४ वीजक शेजारच्या जर्मेनियम-अणूंच्या बाह्य कक्षेतील वीजकांशी सामायिक बंधाने बांधले जातात; पण एक वीजक अनिर्बंध असा स्थानांतराला मोकळा राहतो. आणि असे मोकळे वीजक ‘ वीजवाहतूक करणारे कण ’ (charge carriers) म्हणून उपलब्ध होतात! पण अशा तऱ्हेचे मिश्रण करण्यापूर्वी ही अर्धवाहक मूलद्रव्ये आधी अतिशय शुद्ध करून घ्यावी लागतात, व त्यात अर्सेनिक आदींचे मिश्रण करायचे ते अत्यल्प प्रमाणात (सुमारे एका कोटीत एक इतक्या सूक्ष्म प्रमाणात) काळजीपूर्वक करावयाचे असते, जेणेकरून मिश्रणाचा स्फटिक हाही सुसूत्रतेने बसविले गेलेल्या अणूंचा समूह † होतो. पण एवढ्या अल्प भेसळीने त्या मिश्रधातूची वीजवाहकता मात्र कैक पटींनी वाढते!

---

† ‘ मिश्रण ’, ‘ भेसळ ’ या शब्दांनी व्यवहारात दोन किंवा अधिक पदार्थांच्या केल्या जाणाऱ्या सामान्य मिश्रणाची कल्पना होईल; पण प्रस्तुत अर्धवाहकांच्या बाबतीतील मिश्रण इतके साधे व सुलभ नसते. येथे अत्यल्प प्रमाणात मिश्रित करावयाच्या

[पुढील पानावर पाहा]

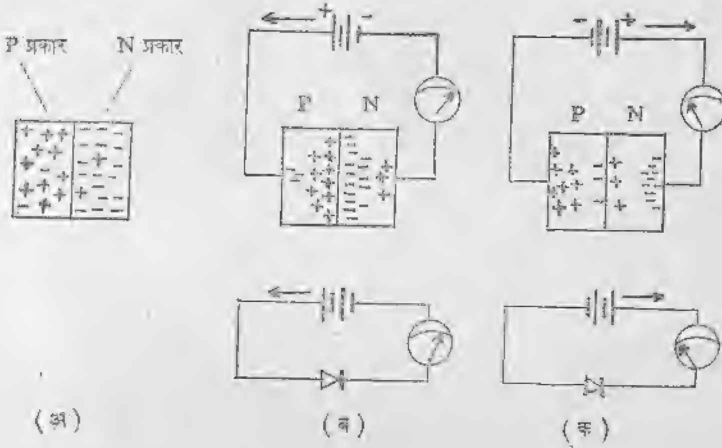
या कृतीत मिश्रणाच्या द्वारा जादा बीजक, म्हणजेच electrons, जे Negatively Charged असतात, ते आत घुसवून त्यांना बीजवहनाचे साधन केले गेले. म्हणून अशा जर्मेनियम किंवा सिलिकॉन स्फटिकाला 'N type चा' किंवा 'N प्रकारचा' अर्धवाहक असे म्हणतात. (Negatively शब्दातील N हे अक्षर लक्षण-वाचक म्हणून घेतले).

अर्धवाहकांची वाहकता वाढण्याची दुसरी कृती :—या कृतीत अर्धवाहक धातूत दुसऱ्या अशा धातूचे सूक्ष्म प्रमाणात मिश्रण घडवले जाते की ज्याच्या अणूतील सर्वांत बाहेरच्या कक्षेत केवळ ३ बीजक असतात. गॅलियम्, इंडियम, बोरॉन हे असे धातू होत. (उदा. गॅलियमच्या अणूच्या बीजकांच्या कक्षांत २–८–१८–३ असे बीजक असतात. क्रम-तक्त्यात हे मूलद्रव्य जर्मेनियमला लगतच आधी आहे.) आता जर्मेनियमच्या (किंवा सिलिकॉन्च्या) स्फटिकामध्ये इंडियमचा किंवा बोरॉनचा अणू बसविला गेल्याने काय होते ते पाहा :—त्याच्या बाहेरच्या कक्षेतले तिन्हींच्या तिन्ही बीजक तर सामायिक बंधनाने शेजारच्या जर्मेनियमच्या अणूशी निबद्ध होतातच, पण आणखी एक बीजक असता तर हवा होता अशा तऱ्हेची एक उणीव किंवा पोकळी शिल्लक राहाते. या पोकळीला इंग्रजीत 'hole' अशी संज्ञा आहे. ही पोकळी भरण्यास शेजारच्या जर्मे-नियमच्या एखाद्या अणूच्या बाहेरच्या कक्षेतला एखादा बीजक, अल्प चेतना मिळताच, आपली जागा सोडून घुसण्यास प्रवृत्त होतो, पण असे करताना तो स्वतः आधी होता त्या जागी पोकळी निर्माण होते; ती भरण्यास मग पलीकडच्या अणूतला बीजक येऊन पोचतो व पोकळी एक घर पुढे सरकते, व दृष्ट्याच्या शर्यतीतल्याप्रमाणे पोकळ्यांचा प्रवाह सुरू होतो. अर्थात पोकळ्यांच्या प्रवासाच्या विरुद्ध दिशेने बीजक, जे प्रत्यक्ष ऋण–विद्युत्भारित–कण असतात, ते सरकत राहतात. म्हणजे स्थलांतर प्रत्यक्ष बीजक–electrons–हेच करतात; पण या बाबतीत असे समजता येते की पोकळ्या या (जणु) धन विद्युत्भारित कणच आहेत, व बीजकांप्रमाणेच त्या 'बीजवहनाची साधने' (Positive-charge-carriers) बनून ते काम पार पाडतात. या रीतीने वाहकता प्राप्त झालेल्या मूळच्या अर्धवाहकाला ओघानेच (Positive type चा, संक्षेपाने P type चा किंवा) 'P प्रकारचा' असे संबोधतात.

[मागील पानावरून पुढे चालू]

मूलद्रव्याचा एकेक अणू, मातृद्रव्याच्या (सिलिकॉन्, जर्मेनियमच्या) स्फटिकात—म्हणजेच त्याच्या अणूंच्या संग्रहाच्या विशिष्ट रचनेत—योग्य त्या जागीच जो दिल्यासारखा जाऊन बसतो—बसवला जातो. मातृद्रव्यांच्या स्फटिकाचे बाह्यस्वरूप बदलत नाही. हे मिश्रित-स्फटिक तयार करण्याकरता उच्च तपमानाचे साह्य घेतले जातेच, पण आणखी बरेच प्रगत तंत्रविज्ञान योजावे लागते. पुस्तकाच्या अखेरीस ट्रॅन्झिस्टर इ.च्या निर्मितीच्या एका तंत्राची माहिती आढळेल.

सेमिकंडक्टर डायोडची रचना व कार्य :—आता या दोन प्रकारचे मिश्रित प्रदेश अर्धवाहक धातूच्या एकाच स्फटिकात परस्परांशी भिडलेले आहेत असे एक युग्म (Semiconductor Diode) सिद्ध करून¶ ते वीजसरणीत बसविल्यास



आकृती ७·१ **सेमिकंडक्टर डायोडची रचना व कार्य**

(अ) रचना : P प्रकारच्या व N प्रकारच्या अर्धवाहक स्फटिकांचे युग्म. (ब) प्रवाहानुकूल वीजपुरवठयाचा परिणाम व सांकेतिक चित्र. (क) प्रवाह-प्रतिकूल विजपुरवठयाचा परिणाम व सांकेतिक चित्र.

काय काय घडते ते पाहणे मनोरंजक आहे. आकृती ७·१ पहावी. (अ) मध्ये युग्म स्फटिकातील प्रदेशांची रचना तत्त्वतः दाखविणारे चित्र दिले आहे. येथे P आणि N प्रकारचे प्रदेश एकमेकांना भिडले असल्याचे समजता येते. प्रत्येक प्रदेशांत विरुद्ध बाजूचे कणही अत्यंत क्षुद्र संख्येने उपस्थित असतात. पण ते विचारात न घेण्याइतके अल्प असतात. (ब) मध्ये बॅटरीचे धन-अग्र P प्रदेशाला व ऋण-अग्र N प्रदेशाला जोडलेले व सरणीत एक वीजप्रवाहमापक (गॅल्व्हनोमीटर) बसविलेले दाखविले आहे. या आकृतीतल्याप्रमाणे परिस्थिती निर्माण होताच घडते ते असे :— बॅटरीतून बाहेर पडणाऱ्या बीजकांचा (ऋणकणांचा, electrons चा) प्रवेश N प्रदेशात होऊन तेथे त्यांची गर्दी होते; यामुळे सीमारेषेवरील बीजक शेजारच्या P प्रदेशांतील पोकळयात (holes मध्ये) घुसून, आणि अर्थातच P प्रदेशातील पोकळया N प्रदेशात

¶ येथे डायोड तसेच ट्रॅन्झिस्टर यांच्या निर्मितितंत्राच्या माहितीची आवश्यकता नसल्याने ती दिलेली नाही. पुस्तकाच्या अखेरीस काही माहिती आढळेल.

धरून एकमेकांना नामशेष करू लागतात; व जणू उत्तेजन मिळाल्याप्रमाणे, ही घटना जसजशी अधिकाधिक प्रभावीपणे घडते तसतसे बॅटरीपासून निघणाऱ्या वीजकणांची वाहतुक सीमाप्रदेशापर्यंत व आरपार पुढे मोकळेपणाने होत राहते. परिणामाच्या दृष्टीने असे म्हणता येते की वीजेच्या प्रवाहाला सीमाप्रदेशाची रोधकता जवळ जवळ नाहीशी होते, व प्रस्तुत युग्म (diode) हे एक सुलभवाहक (good conductor) ठरते. प्रस्तुत चर्चेच्या दृष्टीने याचा अर्थ 'डायोडरूपी स्विच जुटलेला (on) होतो,' व याचा पुरावा म्हणून सरणीतील प्रवाहमापकातून विपुल प्रवाह वाहत असल्याचे दिसते. या प्रकारची जोडणी करून डायोडला बॅटरीच्या वीजवर्चसाचा जो पुरवठा येथे केला गेला त्याचे वर्णन 'forward biased' या शब्दांनी करतात. आपण त्याला 'प्रवाहानुकूल पुरवठा' असे म्हणू.

याच्याउलट (क) मध्ये दाखविल्याप्रमाणे बॅटरीचे धनाग्र युग्माच्या N प्रदेशाला व ऋणाग्र P प्रदेशाला जोडल्यास असे घडते :—N प्रदेशातील ऋणकण (electrons) धनाग्राकडे व P प्रदेशातील धनकण (पोकळ्या) ऋणाग्राकडे आकर्षित होतात, त्यांची जागा घेण्याला सीमाप्रदेशाकडून बॅटरीच्या अग्रांकडे त्या त्या कणांची आणखी थोडी वाहतूक होते व सीमा प्रदेशात ऋण, धन दोन्ही प्रकारच्या कणांचा तुटवडा पडतो. परिणामी वीज वाहून नेणारे कणच दुर्मिळ झाल्याने सीमेच्या पार एकीकडून दुसरीकडे वीज वाहणे अशक्य होते. याचाच अर्थ सीमाप्रदेशात वीजप्रवाहाला मोठी रोधकता उत्पन्न होते व प्रवाह शून्य किंवा नगण्य झाल्याचे प्रवाहमापकावर दिसते. थोडक्यात डायोडरूपी स्विच् सुटलेला (off) होतो. याचे कारण अर्थातच यावेळचा, प्रवाह-प्रतिकूल वीजपुरवठा होय. इंग्रजीत याला reverse biased' असे म्हणतात. (या परिस्थितीला एक अपवाद असतो, तो म्हणजे प्रतिकूल जुळणीतही वीजपुरवठ्याचे वर्चस् (व्होल्टेज्) फार मोठे असेल तर डायोड्च्या दोन्ही प्रदेशांतील ऋण धन कणांची व्यवस्था पार उधळून लावून– breakdown करून– प्रवाह प्रस्थापित होतो. पण या अपवादात्मक परिस्थितीचा विचार आपणास कर्तव्य नाही.)

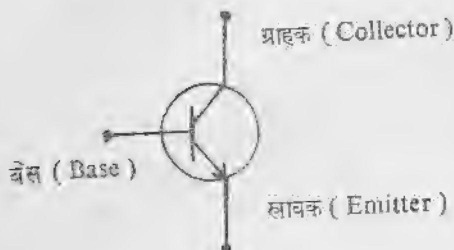
वीजसरण्यांच्या चित्रात डायोड ज्या चिन्हाने दर्शवितात ते वापरून (ब) व (क) मधील जुळण्या खालच्या ओळीत पुनः काढल्या आहेत. डायोडचे चिन्ह म्हणजे बाणाच्या टोकासारखा एक त्रिकोण व टोकापाशी बाणाच्या अक्षाला काटकोनात काढलेली एक रेषा असते. त्रिकोणात्मक प्रदेश हा डायोडचा धनप्रदेश म्हणजेच धनाग्र किंवा Anode होय व आडवी रेषा ही ऋणप्रदेश म्हणजेच ऋणाग्र किंवा Cathode होय. डायोडचा अंतर्भाव असलेल्या सरणीत फक्त या बाणाच्या दिशेनेच वीज वाहते असे समजायचे. याचा अर्थ लक्षात आला असेल की हा स्विच् पक्षपाती आहे! केवळ विशिष्ट दिशेने वाहणाऱ्या वीजप्रवाहाला तो त्यातून जाऊ देतो. उदा. यातायाती (alternating) प्रवाहातील प्रतिकूल दिशेने वाहणारा प्रवाह तो आरपार जाऊ देत नाही, अनुकूल दिशेतून वाहणारा हिस्सा तेवढा उपलब्ध करून देतो. (या कृतीला rectification

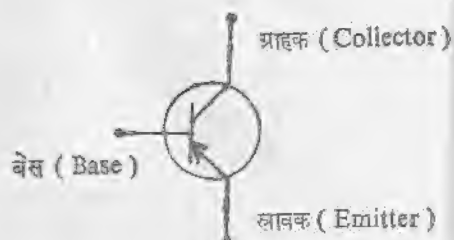
म्हणतात.) गेल्या प्रकरणातील व्हॅक्युअम डायोडच्या कृतीशी याची तुलना करावी.

आता येथे दोन पारिभाषिक संज्ञा समजून घेणे इष्ट आहे. पुढील विवेचनाच्या दृष्टीने ते आवश्यक आहे.– (१) स्विचपर्यंत किंवा विशिष्ट सरणीपर्यंत जी विद्युत्-चेतना किंवा वीजसंदेश (Signal) येऊन पोचलेला असतो व क्रमाने आत शिरलेला (किंवा शिरवलेला) असतो त्याला ' निविष्ट संदेश ' किंवा ' निवेशित संदेश ' किंवा नुसते ' निविष्ट ' म्हणता येईल. इंग्रजीत त्याला ' Input Signal ' किंवा नुसते ' Input ' म्हणतात. (२) या निवेशनाचा परिणाम म्हणून त्या स्विच किंवा सरणी-मधून जो संदेश बाहेर पडतो त्याला ओघानेच ' उद्गत संदेश ' किंवा नुसते ' उद्गत ' म्हणता येईल. इंग्रजीत त्याला 'Output Signal' किंवा नुसते 'Output' म्हणतात. वरील डायोडचे उदाहरण घेऊन सांगायचे तर त्यात यालायाती वीजप्रवाह ' निविष्ट ' केल्यास त्यांतून केवळ एकाच दिशेने वाहणारा प्रवाह ' उद्गत ' होतो.

' निविष्ट ' व ' उद्गत ' या संज्ञांचा उपयोग यापेक्षा व्यापकपणेही केला जातो– एखाद्या परिस्थितीचें जे मूळस्वरूप असेल त्याला ' निविष्ट परिस्थिती, ' (Input) म्हणता येते व त्या परिस्थितीत काही बदल घडवून निर्माण झालेल्या फलस्वरूप परि-स्थितीला ' उद्गत परिस्थिती ,' (Output) असे संबोधले जाते.

सेमिकंडक्टर ट्रायोड अर्थात् ट्रॅन्झिस्टर; रचना व कार्य : डायोडनंतर आता त्याचे मोठे भावंड ट्रॅन्झिस्टर या साधनाची माहिती करून घ्यायची आहे. ट्रॅन्झिस्टरमध्ये उपरोक्त रीतीने मिश्रित झालेल्या प्रकारांचे एकाआड एक असे तीन थर एकमेकांशी संलग्न असावेत अशी रचना असते. हे थर अर्थातच P, N, P किंवा N, P, N या क्रमाने असतात व हीच ट्रॅन्झिस्टरच्या दोन प्रकारांची नावे ठरतात. मधल्या थराची – मध्यस्तराची – जाडी बाजूच्यांच्यापेक्षा बरीच कमी असते; पण (निर्मितीच्या एका पद्धतीत) त्याच्याच आधारावर बाजूचे (विरुद्ध प्रकारचे) स्तर बसविले जातात म्हणून त्याला बेस् (Base) म्हणतात. आपण त्याला ' मध्यस्तर ' किंवा ' बेस ' म्हणू. बाजूच्या एका स्तराला Emitter (स्रावक) म्हणतात. त्याचे काम असे असते:– बेस-मध्ये अनुकूलता निर्माण होताच, हा स्तर आपल्यापाशी आधिक्य असलेल्या कणांचा (उदा. NPN प्रकारांत इलेक्ट्रॉन्स्चा व PNP प्रकारात पोकळ्यांचा) बेसमध्ये स्राव करतो, थोडक्यात बेसमध्ये ते कण पाठवतो. ' स्रावक ' हा शब्द याकारणे येथे योग्य ठरतो. तिसऱ्या राहिलेल्या स्तराला Collector किंवा ' ग्राहक ' म्हणतात. याचें काम म्हणजे, तो स्रावकातून निघालेल्या व बेसमधून आरपार आलेल्या कणांचा स्वीकार करतो, व परिणामतः या तिन्ही स्तरांतून–म्हणजेच ट्रॅन्झिस्टरमधून – आरपार वाहणारा वीजप्रवाह प्रस्थापित करतो. प्रत्येक स्तराला सरणीतील जोडणीकरता लागणारी तार (connection) जोडलेली असते. ट्रॅन्झिस्टरमधून वाहणाऱ्या वीजप्रवाहाचे नियंत्रण केले जाते ते बहुधा बेस ला इष्ट तो वीजपुरवठा करून केले जाते.



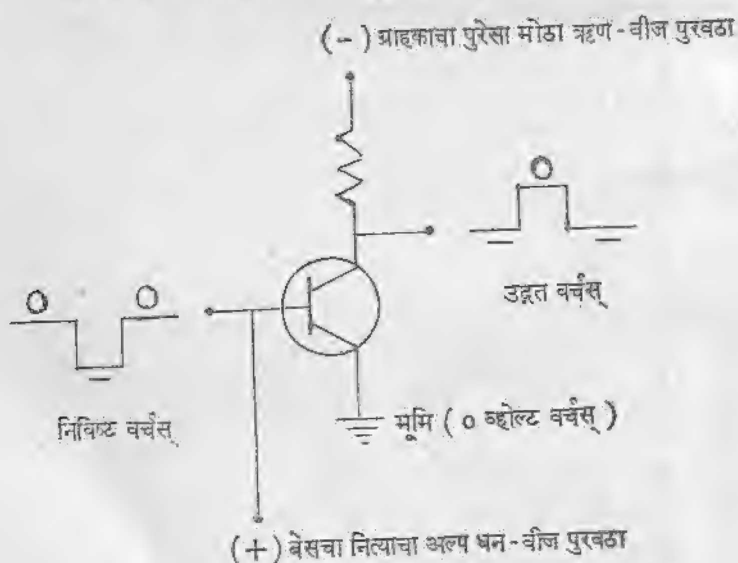


आकृती ७·२ **ट्रॅन्झिस्टरच्या दोन प्रकारांची सांकेतिक चित्रे**

स्रावकाच्या बाणाचे टोक ट्रॅन्झिस्टरमधून वाहणाऱ्या वीजप्रवाहाची दिशा दर्शविते.

येथे ट्रॅन्झिस्टरची रचनादर्शक चित्रे दिलेली नाहीत. पण आकृती ७·२ तील सांकेतिक चित्रांवरून खुलासा होईल.

आतां या साधनाची कार्यपद्धती समजून घेऊ. आकृती ७·३ पहावी.

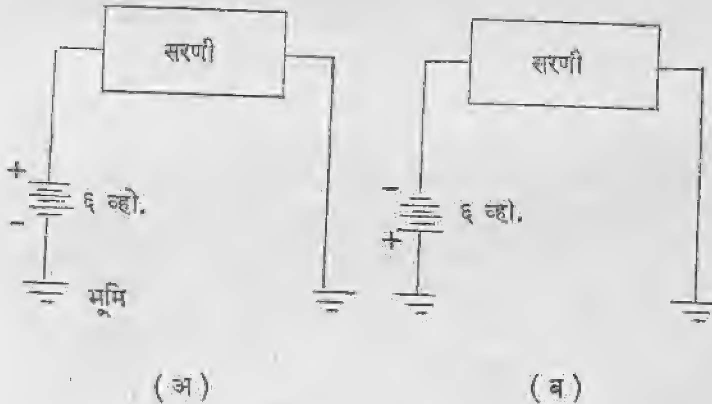


आकृती ७·३ **ट्रॅन्झिस्टरची निविष्टाचे स्वरूप उलटविण्याची कृती.**
येथे उदाहरणादाखल PNP ट्रॅन्झिस्टरची कृती दर्शविली आहे.

समजा PNP प्रकारच्या ट्रॅन्झिस्टरच्या बेसला पुरेसा ऋण विजेचा पुरवठा* केला, म्हणजेच बेसमध्ये ऋण प्रवाह ' निविष्ट ' केला, तर तेथे निर्माण होणाऱ्या ऋणकणांच्या आधिक्यामुळे स्रावकांतून धनकणांची (पोकळ्यांची) वाहतूक तिकडे सुरू होईल. हे घडत असताना स्रावकाचे वर्चस् या परिस्थितीला पोषक असेच म्हणजे ' बेसपेक्षा अधिक धन ' (more positive) ठेवलेले असते. येथे स्रावक भूलग्न (grounded) आहे; अर्थात त्याचे वर्चस शून्य व्होल्ट आहे; आणि शून्य व्होल्ट हे ऋण व्होल्टपेक्षा अधिक धन होय.

~~~~~~~~~

* बीजशास्त्राचे सर्वसामान्य ज्ञान असलेल्यांना या विधानाचा अर्थबोध कदाचित होणार नाहीं. त्याचा खुलासा असा :–बीज पुरवणाऱ्या धन-अग्र व ऋण-अग्र (तीं अग्रे उदा. बॅटरीची असतील,) यांमध्ये विशिष्ट वर्चोभेद असतो. समजा, हा वर्चोभेद ६ व्होल्टचा आहे; म्हणजे नित्याच्या भाषेत बॅटरी ६ व्होल्टची आहे. आतां तिचे ऋण-अग्र भूमीला जोडले, (grounded केले) तर भूमीचे वर्चस सदैव 0 असल्याने त्या अग्राचे बीजवर्चस् 0 होईल. नंतर धन-अग्र नियोजित सरणीला जोडले तर या कृतीने सरणीस + ६ व्होल्टचा पुरवठा होतो. याच्या उलट, बॅटरीचे धन-अग्र भूलग्न करून ऋण-अग्र सरणीस जोडले तर सरणीस –६ व्होल्ट पुरविले असे घडते. बीजप्रवाहमंडल पूर्ण होण्याकरता सरणीचे दुसरे टोक भूमीस जोडलेले असते, आकृत्या पाहाव्यात.



आकृती ७·४ बीजसरणीस धन अथवा ऋण बीज पुरविण्याची रीती

(अ) सरणीस ६ व्होल्ट धन-बीज पुरवठा. (ब) सरणीस ६ व्होल्ट ऋणबीज पुरवठा.
~~~~~~~~~

स्रावकातून बेसमध्ये शिरलेल्या सर्व धनकणांची विल्हेवाट लावण्याची क्षमता बेस-मध्ये नसते. (हा स्तर अति पातळ असल्यामुळे कोणतेही बीजकण धारण करण्याची त्याची क्षमताच अल्प असते.) केवळ सुमारे ५ % धनकणांची विल्हेवाट तेथे लागते व बाकीचे सुमारे ९५% धनकण तसेच पुढे ग्राहकप्रदेशात शिरतात. तेथेही (ग्राहक P प्रकारचा असल्याने) धनकणांचे आधिक्य असते; व या दृष्टीने पाहता बेस-ग्राहक यांचा संयोग ' प्रवाहप्रतिकूल ' असतो; पण ग्राहकाच्या दुसऱ्या टोकाला पुरवलेल्या पुरेशा मोठ्या (समजा – ५ व्होल्ट) ऋणबीजवर्चसामुळे हे सर्व कण तिकडे आकर्षिले जातात. परिणामतः स्रावक–ते–ग्राहक असा सुरळित बीजप्रवाह प्रस्थापित होतो ! याला ओघानेच ' ग्राहक प्रवाह ' (Collector Current) म्हणतात. आपल्या चर्चेपुरते म्हणायचे तर ही स्थिती म्हणजे हा ट्रॅन्झिस्टररूपी स्विच ' जुटला ' जातो !

आता अशा परिस्थितीत बेसला पुरविलेला ऋणप्रवाह क्षीण केला किंवा वाढवला तर त्या प्रमाणात ग्राहकप्रवाह क्षीण किंवा जोरदार होतो; आणि बेस-प्रवाह बंद केला (किंवा त्याची दिशा बदलली) तर ग्राहकप्रवाह तत्काळ बंद होतो. म्हणजेच ट्रॅन्झिस्टर-रूपी स्विच सुटतो – off होतो. मागे व्हॅक्यूअम ट्यूब ट्रायोडमधील ' ग्रिड 'ची माहिती सांगितली होती. तिच्यावरून ' ग्रिड ' व ट्रॅन्झिस्टरचा ' बेस ' यांच्या कार्यांचा सारखेपणा ध्यानी येईल.

ट्रॅन्झिस्टरचे जुटणे – वाहक होणे – हे इच्छित वेळीच घडावे याकरता (प्रस्तुत PNP प्रकारात) बेसला अल्प धनबीजपुरवठा नित्याचा केलेला असतो, जेणेकरून निविष्ट संदेशाचे ऋणवर्चस् हे या नित्यपुरवठ्यापेक्षा अधिक जोरदार असेल तेव्हाच वर वर्णिलेल्या घटना घडतात.

हे वर्णन ट्रॅन्झिस्टरमधून वाहणाऱ्या **प्रवाहाचे** झाले. त्यात निविष्ट होणाऱ्या व त्यातून उद्गत होणाऱ्या **बीजवर्चसाचा** विचार केल्यास परिणाम जणू उलटा घडतो. कसे ते पाहा :—

(१) जेव्हा बेसमधे (ऋण) वर्चस निविष्ट होत नाही आणि ट्रॅन्झिस्टरमधून म्हणजेच ग्राहकाच्या ऋणबीजपुरठ्यापासून ग्राहकाचा रोधक – ते – ट्रॅन्झिस्टर – ते – भूमी असा बीजकांचा प्रवाह वाहत नाही, थोडक्यात रोधकांतून वर्चस्व्यय (voltage-drop) होत नाही, तोपर्यंत रोधकाच्या दोन्ही टोकांपाशी प्रायः एकच वर्चस् अस-ल्याचें समजता येते.* याचा अर्थ आपणांस अभिप्रेत असलेल्या उद्गत बिंदूपाशी मात्र

~~~~~~~

* सर्वसामान्य वाचकांना हे विधानही खटकेल. रोधकातून प्रवाहच वाहत नाही तर रोधकाच्या दुसऱ्या टोकापाशी काही बीजवर्चस् उपलब्ध होईलच कसे ? असा बहु-तेकांचा अभिप्राय असेल. याविषयींचा खुलासा असा :— रोधकांतून प्रवाह वाहत नाही याचे कारण उघड आहे की हे बीजमंडल पूर्ण झालेले नाही; रोधकाच्यापुढे ते तुटलेले

[पुढील पानावर पाहा]
~~~~~~~

उल्लेखिलेले –५ व्होल्ट वर्चस् बहुतांश उपलब्ध असते !

(२) याच्या उलट, बेसमध्ये पुरेसे ऋणवर्चस निविष्ट होताच, व ट्रॅन्झिस्टरमधून प्रवाह वाहू लागताच ग्राहकाच्या रोधकातून वाहताना ग्राहकाला पुरवलेल्या उपरोक्त

[मागील पानावरील तळटीप पुढे चालू]

(open) आहे. हे कारण दुसऱ्या रीतीने असें मांडता येते की प्रस्तुत रोधकाच्या पुढे अनंत ओम्सचा (infinite resistance चा) एक रोधक जोडलेला आहे, व त्याच्यामुळे सरणीतील प्रवाह शून्य आहे. आणि अशा परिस्थितीत आपणास सरणीतील रोधकाच्या दुसऱ्या टोकाचे म्हणजेच या दोन रोधकांच्यामधील बिंदूचे वर्चस किती आहे ते पाहावयाचे आहे. हे काम व्होल्टमीटरने (मापकाने) प्रत्यक्ष मोजूनच होऊ शकेल. मात्र मोजताना अनंत ओम्सचा, निदान त्याच्याशी समतुल्य असा रोधक सरणीत बसवून तो पूर्ण करावी लागेल. असा एक फार फार मोठ्या क्षमतेचा रोधक मापकात नित्याचाच बसविलेला असतो. प्रस्तुत उदाहरणातील रोधक समजा १ किलो ओम्चा (१००० ओम्सचा, किलो = सहस्र) आहे. मापकातील (मीटरमधील) रोधक त्याच्या निदान १०० पटीने मोठा म्हणजे १०० कि. ओम्सचा सहजतः असतो, आहे. अशा परिस्थितीत मग मापकातून प्रवाह किती वाहील हे काढता येते :

$$\text{मापकातून वाहणारा प्रवाह} = \frac{\text{५ व्हो.}}{(\text{१}+\text{१००})\ \text{कि. ओ.}} = \frac{\text{५ व्हो.}}{\text{१०१०००}\ \text{ओम्स}}$$

$$= \frac{\cdot\text{४९५}}{\text{१०००,०००}}\ \text{ॲम्पीअर.}$$

हा सुमारे अर्धा मायक्रो-ॲम्पीअर प्रवाह झाला. (मायक्रो = दशलक्षांश). आता हा सूक्ष्म प्रवाह वाहताना सरणीच्या रोधकातून किती वर्चसाचा व्यय (Voltage drop) होतो ते पाहू.

$$\text{वर्चोव्यय} = \frac{\cdot\text{४९५}}{\text{१०००,०००}}\ \text{ॲम्प.}\times\text{१०००}\ \text{ओम्स} = \cdot\text{०४९५}\ \text{व्होल्ट.}$$

हा व्यय मूळच्या ५ व्होल्टमधून वजा केल्यास उरतात ४·९५०५ व्होल्ट, म्हणजे जवळजवळ मूळच्या ५ व्होल्ट इतकेच ! ते नियोजित उद्गत बिंदूपाशी म्हणजे सरणीतील रोधकाच्या दुसऱ्या टोकापाशी उपलब्ध होतील.

मापकामध्ये असा फार मोठ्या क्षमतेचा रोधक बसवून केवळ अतिसूक्ष्म प्रवाह वाहू देण्याचा मुख्य हेतू हा असतो की, प्रत्यक्ष मोजण्याच्या कामी म्हणून प्रयोगातील अत्यल्प वीज खर्च व्हावी. 'नमुन्यावारी माल संपला' अशी परिस्थिती कदापि न घडावी. हे साधण्याकरता मग मापकाचा काटा अति संवेदनाशील ठेवावा लागतो इतकेच.

[तळटीप संपली]

– ५ व्होल्टचा सर्व व्यय होऊन उद्‌गत बिंदूपाशी प्रायः ० व्होल्ट वर्चस उरते ! याचा अर्थ यावेळी उद्‌गत शून्य असते ! थोडक्यात, **असेल त्या निविष्ट परिस्थितीचे 'नकरण' (negation) किंवा 'उलटीकरण' (inversion) करणे हे काम ट्रॅन्झिस्टर पार पाडतो.** आकृतीत बेसमध्ये निविष्ट होणाऱ्या बीजसंदेशाचे वर्चस शून्य – उणे – पुनः शून्य असे बदलल्याने ग्राहकातून मिळणाऱ्या उद्‌गत संदेशाचे मूल्य उणे – शून्य – पुनः उणे याप्रमाणे बदलते हे दाखविले आहे.

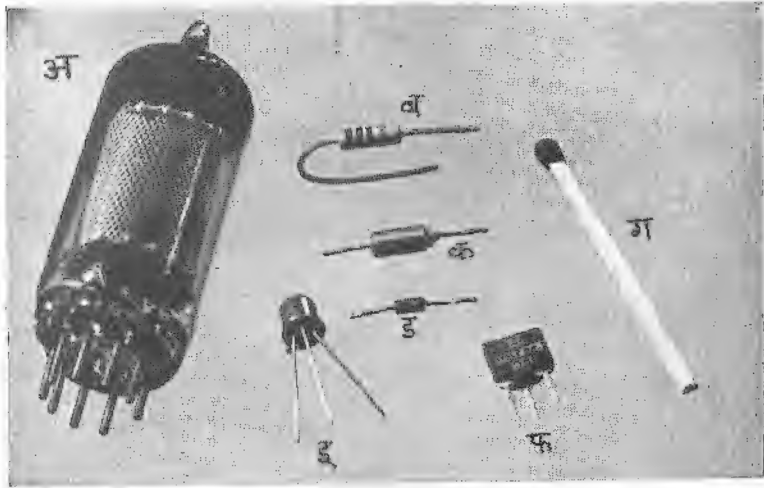
NPN ट्रॅन्झिस्टरच्या कार्याचे तत्त्व वरीलप्रमाणेच आहे; फक्त वरील सर्व विवेचनात व आकृतीत 'ऋण' ऐवजी 'धन' व 'धन' ऐवजी 'ऋण' हे शब्द वाचल्याने ते स्पष्ट होईल.

एवंच, यातायाती बीजप्रवाहाचे 'एकदिशीकरण' (rectification) करणारा 'डायोड' व बीजसंदेशाचे 'उलटीकरण' करणारा 'ट्रायोड' ट्रॅन्झिस्टर या दोन बीजकीय (electronic) स्विचेस्‌ची माहिती आपण या प्रकरणात करून घेतली.

या स्विचेस्‌चा द्विमान अंकांच्या गणितात उपयोग कसा होत असेल याची थोडी-बहुत कल्पना आपल्याला आहे.–ज्या स्विचमधून किंवा असा स्विच जोडलेल्या सरणीतून उद्‌गत म्हणून अपेक्षित ते बीजवर्चस्‌ मिळेल, (मग ते योजनेप्रमाणे ऋण-वर्चस असो किंवा धन-वर्चस असो) त्या सरणीने " १ " हा अंक प्रदर्शित केला, व जिच्यातून कोणतेच बीजवर्चस उद्‌गत होणार नाही तिने " ० " हा अंक प्रदर्शित केला असे समजता येते. असे वर्चस उपलब्ध असेल तर (आणि तरच) पुढच्या सरणीकरता स्पंद (pulse) निघतो हे उघड आहे. आणि या कारणेच स्पंद = " १ " व बंद (म्हणजे बीजप्रवाह बंद) = " ० " हा संकेत गृहीत धरला गेला.

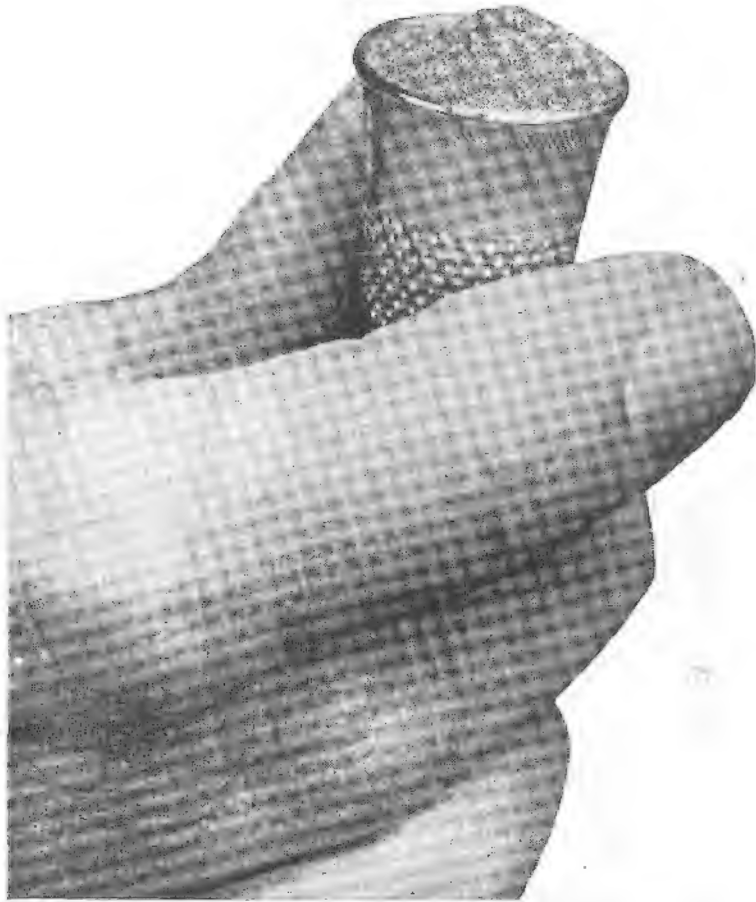
प्रस्तुत प्रकरणांत चर्चिलेले अर्धवाहक डायोड, ट्रॅन्झिस्टर हे बीजकीय घटक (electronic components) गेल्या प्रकरणी वर्णिलेल्या थर्मिऑनिक व्हाल्व्हच्या तुलनेने किती सूक्ष्म आकाराचे असतात हे आकृती ७·५ वरून लक्षात येईल. अनेक लोक ज्या वस्तूला (चुकीने) 'ट्रॅन्झिस्टर' म्हणतात, तो असतो ट्रॅन्झिस्टर वापरून सिद्ध केलेला रेडिओ सेट. त्यामध्ये व्हाल्व्हज्‌ची जागा या बारक्या ट्रॅन्झिस्टर्सनी घेतलेली असते, व त्यामुळे तो सेट खिशात ठेवता येण्याइतका लहान बनवता आलेला असतो. संगणकाच्या स्मृतीभांडारात उपयोजिल्या जाणाऱ्या आणखी एका घटकाच्या सूक्ष्मतेची कल्पना आकृती ७·५ च्या मागील बाजूच्या आकृतीवरून येईल.

सूक्ष्मीकरणाची ही लाट येथेच थांबलेली नाही. ती एव्हाना आणखी एक-दोन टप्पे पुढे गेलेली आहे. सध्या प्रचलित असलेल्या व होऊ घातलेल्या सूक्ष्मातिसूक्ष्म बीजकीय घटकांची माहिती वाचकांना पुस्तकाचे अखेरीस मिळणार आहे.



आकृती ७·५ **संगणकातील वीजकीय घटकांचे सूक्ष्म आकार**

अ थर्मिऑनिक व्हाल्व्ह; **ब** रोधक (रिझिस्टर); **क** धारक (कॅपॅसिटर); या घटकाविषयी अधिक माहिती पुढे प्रकरण १२ मध्ये मिळेल. **ड** अर्धवाहक द्रव्यांपासून तयार केलेला डायोड; **इ, फ** अर्धवाहक द्रव्यांपासून तयार केलेले ट्रॅन्झिस्टर; **इ** हा धातूच्या पत्र्याच्या आवरणात बंद केलेला आहे, तर **फ** हा प्लॅस्टिकच्या आवरणात बंद केलेला आहे; **ग** आकारांच्या तुलनेकरता ठेवलेली काड्याच्या पेटीतील काडी.



आकृती १३·१·१ : **संगणकाच्या स्मृतिसंग्रहात वापरण्यात येणाऱ्या कर्षुकशील फेराइट कड्यांचे अतिसूक्ष्म आकार.**

चित्रात हातात धरलेल्या अंगुस्तानात शेकडो कड्या (वळ्ये, Rings) मावल्या आहेत ! यांच्याविषयी अधिक माहिती पुढे प्रकरण १३ मध्ये मिळेल.

प्रकरण : ८

बीजप्रवाह, अंक आणि तर्क यांचे परस्परसंबंध

तर्काधिष्ठित बीजसरण्या (Logic Circuits).

NOT, AND, OR, NAND, NOR व Exclusive OR (समवर्जी OR) या तर्काधिष्ठित सरण्यांच्या कृतींचे आशय.

बूलच्या बीजगणिताची प्रमेये.

एखाद्या सरणीतून बीज वाहावी का न वाहावी याचे त्वरेने नियंत्रण करणारे स्विच आपण अभ्यासले. पण त्यांच्या साह्याने गणिती क्रिया करवून घेताना बीजप्रवाहाचे जे ' स्पंद–बंद ' व्हायचे ते कोठे, केव्हा व्हायचे याचा निर्णय कोणी करावयाचा हा प्रश्न उरला. मानवी निर्णय फार फार सावकाशीने होणारे असल्याने तो येथे निरुपयोगी ठरणार हे उघडच आहे; आणि असे करावे लागले तर मग हा आपोआपी संगणक (Automatic Computer) कसला ?

आणखी एक प्रश्न उरला आहे—संगणकांत गणिती क्रिया पार पडत असताना स्पंद म्हणजे " १ " व बंद म्हणजे " ० " असे समीकरण असावे हे आपण गृहीत धरले आहे; पण आधी, **हे अंक तेथे मांडलेच कसे जातात ?** हा प्रश्न सहजच उद्‌भवतो. निर्जीव संगणकाला डोळे नाहीत, काही दिसत नाही; पण तरीही, त्याचे-त्याला प्रतीत होईल अशा काही रीतीने अंक मांडले गेले पाहिजेत हे निश्चित. वास्तविक ही अंकांच्या मांडण्या–लिहिण्याविषयीची माहिती आधी सांगितली पाहिजे, पण विवेचनाच्या सोयीकरता ती आणखी दोन प्रकरणांनंतर सांगितली आहे. पण, तूर्त असे समजू या की, योग्य त्या तऱ्हेचे अंकलेखन शक्य झाले आहे व एकीखाली एक मांडलेल्या दोन संख्यांची बेरीज (जी सर्वांत साधी गणिती क्रिया समजली जाते, ती) व्हावयाची आहे. याकरिता मग किती गोष्टी विचारार्थ येतात त्या पहा :–**जर** एखाद्या स्तंभात **दोन्ही** संख्यांचे अंक " ० " व " ० " असे असतील **तर** त्यांची बेरीज " ० " येईल (व अर्थात ती लिहिली जाण्याची योजना होईल); पण स्तंभात " १ " व " ० " असले **तर, किंवा** " ० " व " १ " हे अंक असले **तरीही** बेरीज " १ " होईल. पण या दोन्ही प्रकारांपेक्षा वेगळी गोष्ट म्हणजे **जर** दोन्ही अंक " १ ", " १ " हे असतील **तर** बेरीज " ० " येईल ! पण **हातचा** " १ " येईल

व तो डावीकडच्या स्तंभाच्या बेरजेत मिळवावा लागेल. तेथे यामुळे काय परिस्थिती निर्माण होईल ते वेगळेच.

या तपशिलातून निघणारा निष्कर्ष असा की, साध्यात साध्या गणिती क्रिया पार पडण्याकरितासुद्धा कित्येक ' जर ', ' तर ', ' किंवा ' यांचे ' आशय ध्यानी घेऊन ' त्यांवर निर्णय व्हावे लागतील; म्हणजे त्याकरता काही एक तर्कज्ञान आवश्यक ठरेल ! आपण मानव (अगदी शाळकरी पोरगासुद्धा) उपरोक्त कृती करताना ' हे ' का ' ते ' हा निर्णय अगदी सहज नि तत्काल करतो. पण या बाबतीतली खरी गोष्ट अशी आहे, की त्या अत्यल्प क्षणांत नकळत आपल्या ध्यानी वस्तुस्थिती आलेली असते, व मेंदूच्या सामर्थ्याने–म्हणजेच तर्कज्ञानाने–तिचे विश्लेषण करून आपण योग्य तो निर्णय केलेला असतो. आता मेंदुहीन जड संगणकात हे कसे शक्य व्हायचे ? पण निर्णय झाले पाहिजेत हे तर अटळ आहे.

> तेथे याकरिता मग अशी योजना केलेली असते की, तर्कानुसार या ' जर ', ' तर ' मुळे जेवढे पर्याय निघतात व त्यांच्या परस्परावलंबनातून (due to interdependence) जे जे निष्कर्ष निघतात, त्यानुसार त्या त्या संबंधित सरण्यांतून वीज ' वाहावी ' किंवा ' वाहू नये ' अशी आपोआपी योजना, त्या त्या ठिकाणी, गेल्या प्रकरणी वर्णिलेले ' स्विच ' वापरून केलेली असते. थोडक्यात, तेथे **तर्काधिष्ठित सरण्या** (Logic Circuits, Logic Gates) बसविलेल्या असतात ! संगणकातील वीज-सरण्यांच्या जंजाळात बसवलेली योग्य वेळी उघडणारी किंवा मिटणारी व वीजप्रवाहाचे नियंत्रण करणारी ही ' द्वारे 'च होत.

या सरण्यांच्या रचना व वीजप्रवाहाच्या दृष्टीने असलेली वैशिष्ट्ये या गोष्टी पुढील प्रकरणावर सोपविल्या आहेत. पण तर्काने व्यक्त होणाऱ्या कोणत्या आशयांचे ' अस्तित्व ' किंवा ' अभाव ' त्या व्यक्त करतात याविषयीची चर्चा येथे केली आहे.

कोणत्याही कूट विधानाचे, कोड्याचे किंवा समस्येचे तर्कसंगत विश्लेषण करून व त्यात प्रतीत होणाऱ्या आशयांना किंवा पैलूंना बांधेसूद गणिती रूप देऊन व नंतर गणिती नियम वापरून, ते गणित, म्हणजेच ती समस्या, सोडविता आली पाहिजे असे गणिती पंडितांना प्राचीन काळापासून वाटत असे. पण ते जमले मात्र नव्हते. अखेर गेल्या शतकाच्या मध्यास **जॉर्ज बूल** या तत्त्वज्ञ गणितज्ञाला ते साध्य झाले. त्याने या कामी उपयुक्त ठरणारे एक नवेच बीजगणित रचले ! बूलच्या बीजगणिताचे बहुतेक नियम साध्या बीजगणितातल्या सारखेच आहेत. पण दोहोंत काही महत्त्वाचे फरक आहेत. त्यातील एक म्हणजे—

नेहमीच्या बीजगणितात **अ, ब, क, ड, य, क्ष** इत्यादि अक्षरांनी ज्या चल-राशी (variables) व्यक्त केल्या जातात त्यांची मूल्ये काहीही असू शकतात. ती अधिक,

उणे, पूर्णांक, अपूर्णांक काहीही असतील, पण बूलच्या बीजगणितातील अशा निर्देशक अक्षरांना केवळ दोनच मूल्ये असतात— १ किंवा ० ! आणि याचा तर्कदृष्ट्या अर्थ असा समजायचा की, त्या अक्षराने अभिप्रेत असलेला विशिष्ट समस्येतल्या विशिष्ट पैलूचा आशय किंवा अर्थ 'लागू' किंवा 'गैरलागू' आहे; त्या पैलूने दर्शविलेली स्थिती अस्तित्वात 'आहे' किंवा 'नाही' *

पुढे १९३८ मध्ये **क्लॉड् शॅनॉन्** या तंत्रज्ञाने बूलच्या बीजगणिताच्या आधारे विजेच्या सरण्यांची जुळणी कमीत कमी साहित्यात आणि सुलभतेने कशी करता येते हे दाखवून दिले; आणि संगणकाच्या निर्मितीकरता आवश्यक असणारा दुसरा महत्त्वाचा दुवा सांधला. बूल व शॅनॉन् यांच्या सिद्धांतांचा उपयोग संगणकाच्या रचनेत अनिवार्य ठरला आहे. अगदी साध्या वीजसरण्यांमध्ये या सिद्धांतांचा अंतर्भाव कसा झाला आहे ते पुढे विवेचिलेल्या उदाहरणांनी लक्षात येईल.

या प्रकरणात तर्क, अंक आणि वीजप्रवाह या वरवर पाहता असंबद्ध वाटणाऱ्या तीन गोष्टींतील संबंध आपणास समजून घ्यायचे आहेत. प्रायः त्यातील जोडयांची चर्चा फायद्याची होईल. अंक आणि वीजप्रवाह (त्याचे स्पंद, बंद) यांच्या संबंधांचे स्पष्टीकरण येथवर अनेकदा झाले आहे. पण तर्क या नव्या विषयाची चर्चा येथे प्रथमच होणार असल्याने, ती थोडी विस्ताराने होणार आहे– होणे आवश्यक आहे. सर्कसमधील खेळाडू रिंगणात फिरणाऱ्या तीन घोडयांवर आलटून-पालटून बसण्याचे किंवा दोन घोडयांवर उभे राहण्याचे प्रयोग करून दाखवतो, तेव्हा त्याचे अवधान तिन्ही घोडयांवर असते; तसे काहीसे वाचकाला येथे करावे लागणार आहे. पण संगणकांतील सरण्यांच्या रचनांची व कार्यपद्धतींची माहिती होण्याकरता हे परस्पर-संबंधांचे ज्ञान अत्यावश्यक आहे, तेव्हा वाचकांनी तसे अवधान ठेवावे.

साधी एकसर सरणी (series circuit) व समांतर सरणी (parallel circuit) या सरण्यांचे उदाहरण उपरोक्त तिन्ही तत्त्वांना स्पर्श करणारे आहे; ते प्रथम घेतले आहे. पुढील पानावरील आकृती ८·१ पहावी.

---

* वेगवेगळी 'विधाने' किंवा 'वाक्ये' यांमधील परस्परसंबंधांचे तर्कदृष्टया विश्लेषण हे संगणकाच्या अभ्यासात प्रत्यक्ष जरूरीचे नाही. येथे विशिष्ट 'वर्गां'मधील संबंधांचे तार्किकी व गणिती विश्लेषण कसे होऊ शकते हे समजून घेणे आवश्यक ठरते. पण गुंतागुंतीच्या विधानांचा बरोबर आशय समजून घेण्याच्या कामीही तर्कशास्त्र व गणित यांचा समन्वय कसा उपयोगी ठरतो हे आनुषंगाने पाहणे इष्ट ठरते. ही चर्चा पुस्तकाचे शेवटी परिशिष्टात केली आहे. प्रस्तुत प्रकरणात वेगवेगळे 'वर्ग' 'गट' किंवा 'सट' यांमध्ये असू शकणारे तार्किकी व बूलच्या गणिताअन्वये असलेले गणिती संबंध समजावून सांगितले आहेत, व बूलच्या बीजगणिताची महत्त्वाची सूत्रे सांगितली आहेत.

सरणीत शिरणारा प्रवाह



सरणीतून निघणारा/ न निघणारा प्रवाह

(अ)

सरणीत शिरणारा प्रवाह



सरणीतून निघणारा / न निघणारा प्रवाह

(ब)

आकृती ८·१

प्राथमिक बीजसरण्या. (अ) एकसर सरणी. (ब) समांतर सरणी.

येथे प्रत्येक सरणीत **क, ख** हे फक्त दोन स्विच बसवलेले आहेत. प्रत्येक स्विच जुटलेला अगर सुटलेला असेल त्यानुसार सरणीतून प्रवाह निघेल का न निघेल हे ठरते. या दृष्टीने पाहता सरणीत शिरणारा प्रवाह व त्याच्या जोडीला त्या त्या स्विच्‌ची अवस्था मिळून होणारी परिस्थिती ही या बाबतीतील निविष्ट परिस्थिती–input–ठरते. यापैकी शिरणारा प्रवाह सतत उपलब्ध असल्याचे गृहीत धरल्याने त्याचा येथे विचार न केला तरी चालेल. बाहेर निघणारा (किंवा न निघणारा) प्रवाह ही अर्थातच उद्गत स्थिती–output–होय. येथे दुसरा एक संकेत समजून घ्यायचा, तो म्हणजे, स्विचच्या जुटलेल्या (on) अवस्थेला समजा **क** असे नाव दिले, तर त्याच्या सुटलेल्या (off) अवस्थेला $\overline{\text{क}}$ असे नाव देतात. (**ख** लाही अर्थात तोच नियम लागू). **क** आणि $\overline{\text{क}}$ (तसेच **ख** आणि $\overline{\text{ख}}$) यांनी व्यक्त होणाऱ्या अवस्था या एकमेकींच्या उलट म्हणजे प्रतिरूप अवस्था आहेत. कोणतीही एक अस्तित्वात असल्यास दुसरी नसणार. हा '**उलटपणाच्या**' **किंवा** '**नकरणाच्या**'**–Negation चा–आशय व्यक्तविण्याकरता संगणकाच्या परिभाषेत NOT ही यथार्थ संज्ञा वापरतात.** ती वापरून मग असे म्हणता येते :

क = NOT $\overline{\text{क}}$,* तसेच $\overline{\text{क}}$ = NOT क; ख = NOT $\overline{\text{ख}}$, $\overline{\text{ख}}$ = NOT ख इ. अंकांच्या बाबतीतही या रीतीने उलटीकरण व्यक्त होते ते ध्यानी ठेवावे—

$\overline{१}$ = ० व $\overline{०}$ = १.

---

* तर्कशास्त्राच्या विवेचनात नकरण दर्शविण्याकरिता सामान्यतः तिरप्या स्ट्रोकचा उपयोग करतात; जसे क′ = NOT क, १′ = ०. पण काही पुस्तकांत वरीलप्रमाणे ऊर्ध्वरेषेचा उपयोग केलेला आहे. ही दुसरी पद्धती सोयीची असल्याने येथे स्वीकारली आहे.

ट्रॅन्झिस्टर NOT चीच कृती करतो हे ध्यानी आले असेलच.

आणखी दोन संज्ञांची माहिती या उदाहरणातून मिळणार आहे : एकसर सरणीच्या बाबतीत दोन्ही स्विच जुटलेले असले तरच तिच्यातून प्रवाह निघेल हे उघड आहे. आता हे विधान फोडून लिहायचे ठरले तर ते असे लिहावे लागेल— ' क आणि ख हे (म्हणजे आहेत ते सर्व, एकही न वगळता सर्व) स्विच जुटलेले असले तरच सरणीतून प्रवाह निघेल. ' येथे उदाहरणात दोनच स्विच घेतले आहेत, पण अधिक असते तर क ' आणि ' ख ' आणि ' ग ' आणि ' घ ' आणि '...असे म्हणावे लागले असते. या कारणे, उपरोक्त ' आणि ' शब्दाने व्यक्त होणारा **' सर्वसमावेशाचा आग्रह ' दर्शवणाऱ्या तार्किक आशयाला व त्यानुरूप, म्हणजे ' संबंधित सर्वच्या सर्व निविष्टे अस्तिपक्षी असतील तरच उद्गत अस्तिपक्षी असेल ' या तऱ्हेची कृती करणाऱ्या वीजसरण्यांना संगणकाच्या परिभाषेत AND ही संज्ञा दिली जाते.** [नेहमीच्या व्यवहारात वापरले जाताना ' आणि ', ' AND ' या शब्दांना इतका सर्वसमावेशकत्वाचा अर्थ असत नाही, पण संगणकाच्या परिभाषेत संकेताने तो येतो.]

यापुढची संज्ञा समांतर सरणीच्या कृतीवरून मिळते. वरीलप्रमाणे तिच्या कृतीची फोड करून असे वाक्य लिहिता येते ' क **किंवा** ख **किंवा** दोन्ही (म्हणजे कोणताही एक किंवा अधिक) स्विच जुटलेले असल्यास सरणीतून प्रवाह निघेल ' ओघानेच, या **विकल्पदर्शक आशयाला व त्यानुरूप, म्हणजे ' अमुक, किंवा अमुक, किंवा अमुक....निदान कोणते तरी एक (किंवा अधिक) निविष्ट अस्तिपक्षी असल्यास उद्गत अस्तिपक्षी असते ' या तऱ्हेची कृती करणाऱ्या वीजसरणीला संगणकाच्या परिभाषेत OR ही संज्ञा आहे.**

येणेप्रमाणे वीजप्रवाहाचे व NOT, AND, OR या तीन विशिष्ट तार्किक आशयांचे संबंध प्रस्थापित झाल्यानंतर, त्यांचे अंकांशी (अर्थात् बूलच्या गणितातील १ व ० या द्विमान अंकांशी) काय नाते लागते ते पाहण्याकरता, व प्रस्तुत उदाहरणातील परिस्थितीचे वेगवेगळे पैलू तक्त्यात मांडता यावेत म्हणून, त्या गणिताच्या नियमान्वये आणखी एक संकेत करायचा :–सरणीतून प्रवाह निघत असेल–म्हणजे तो अस्तित्वात असेल–तर ती स्थिती " १ " या अंकाने दर्शवायची, व निघत नसेल–त्याचा अभाव असेल–तर ती स्थिती " ० " ने दर्शवायची. ओघानेच मग जुटलेला (on) स्विच, जो प्रवाहाला अनुकूल असतो तो, " १ " ने व सुटलेला (off) स्विच " ० " ने दर्शवायचा, हे रास्त ठरते. यानंतर पुढीलप्रमाणे तक्ते मांडणे सहज शक्य होते. वस्तुस्थितीचे पैलू दर्शविणाऱ्या अशा तक्त्यांना ' वस्तुस्थितिदर्शक पट ' किंवा संक्षेपाने ' स्थितिपट ' म्हणता येईल. इंग्रजीत त्यांना Truth Tables म्हणतात. (नुसत्या स्विच /प्रवाह येवढ्याच बाबतीत नव्हे तर कोणत्याही समस्येच्या बाबतीत असे स्थितिपट मांडणे शक्य व इष्ट असते).

एकसर सरणी

स्विच क	स्विच ख	वीजप्रवाह
०	०	०
०	१	०
१	०	०
१	१	१

समांतर सरणी

स्विच क	स्विच ख	वीजप्रवाह
०	०	०
०	१	१
१	०	१
१	१	१

आता या स्थितिपटातील निविष्ट परिस्थिती (input) दर्शविणारे (म्हणजे येथे स्विच संबंधीचे) अंक व त्यांच्याशी संबंधित असलेले उद्गत परिस्थिती (output) दर्शविणारे–वीजप्रवाहदर्शक–अंक यांमध्ये काही गणिती संबंध आढळतो का हे पाहू या. येथे असे आढळते की—

१. **एकसर सरणीच्या बाबतीत** पहिल्या दोन स्तंभांतील **निविष्ट-दर्शक अंकांचा गुणाकार केल्याने** तिसऱ्या स्तंभातील **उद्गतदर्शक अंक मिळतात**; तर

२. **समांतर सरणीच्या बाबतीत निविष्टदर्शक अंकांची बेरीज करून उद्गतदर्शक अंक मिळतात !**

दुसऱ्या तक्त्यातील तळच्या ओळीतील अंकांच्या बेरजेच्या बाबतीत थोडे खटकते. १ + १ = १ हे समीकरण साध्या अंकगणितात बसत नाही. पण मघाच्या संकेताचा विचार करता, सरणीतील दोन्ही स्विच जुळलेले म्हणजे " १ ", " १ " असे असताना सरणीतून प्रवाह दुप्पट वाहतो असे काही नाही; प्रवाह वाहतो म्हणजे " १ " असतो येवढेच खरे. किंबहुना बूलच्या गणितान्वये १ + १ = १ हेच समीकरण बरोबर आहे.

या उदाहरणातील सरण्यात दोन-दोनच स्विच घातले आहेत, पण त्यांची संख्या कितीही मोठी असली तरी वर आढळलेली दोन आश्चर्यकारक सत्ये अबाधित राहतात. एवढेच नव्हे, तर एकसर व समांतर सरण्या एकमेकीत मिसळून गुंतागुंतीच्या सरण्या सिद्ध झाल्या असल्या, तरी हे नियम त्यांच्या कृतींना लागू पडतात.

पण या संबंधांचा व्यापकपणा यापेक्षा अधिक आहे. तो म्हणजे–निविष्ट परिस्थिती ही फक्त स्विचमुळे ठरते असे नाही. एक किंवा अधिक वीजप्रवाह, स्पंद (pulses) हे input signals – निविष्ट संदेश – असू शकतात, व त्यांचे फलित म्हणून अशा AND, OR इ. सरण्यांतून परिस्थितिनुसार उद्गत स्पंद निघतो, किंवा निघत नाही. NOT सरणीच्या बाबतीत मात्र एकच निविष्ट असते.

येथवरच्या विवेचनाचा सारांश खालीलप्रमाणे निघतो :—

(१) NOT सरणी निविष्टाचे उलटीकरण करते;

(२) एकसर सरणीशी साम्य असलेल्या AND सरणीचे वर्तन असे असते, की, तिच्या निविष्टांऐवजी द्विमान अंक किंवा बीजगणितातील अक्षरे योजिली तर त्या अंकांच्या वा अक्षरांच्या गुणाकाराने सरणीच्या उद्‌गताचे स्वरूप मिळते; व

(३) समांतर सरणीशी साम्य असलेल्या OR सरणीच्या बाबतीत, निविष्ट-दर्शक अंकांच्या वा अक्षरांच्या बेरजेने सरणीचे उद्‌गत मिळते.

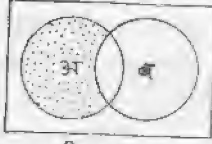
आता या तीन सरण्यांवर आधारित अशा आणखी दोन सरण्या सिद्ध होतात त्या समजून घेऊ :— AND सरणीच्या पुढे NOT सरणी जोडून जी संयुक्त सरणी तयार होते ती त्या AND सरणीच्या उग्दताचे स्वरूप उलटवते. तिला यथार्थतेने NAND असे नाव संगणकाच्या परिभाषेत दिले आहे. याच चालीवर OR सरणीच्या उद्‌गताचे स्वरूप उलटवण्याचे काम करणाऱ्या सरणीला NOR असे नाव दिले आहे. ती सरणी संबंधित OR सरणीच्या पुढे एक NOT सरणी जोडून तयार होते.

पाच वेगवेगळे तार्किक आशय (logical aspects) आपण समजून घेतले. तसेच, त्या आशयानुसार काम करणाऱ्या–त्या आशयांची अभिव्यक्ती घडविणाऱ्या–बीज-सरण्या असतात अशी माहिती येथवरच्या विवेचनाने मिळाली. त्यांतील दोन साध्या सरण्यांची निविष्ट-उद्‌गत मूल्ये (input-output) यांमधील गणिती संबंधही ध्यानी आले. पण वरील तार्किक आशयांच्या कल्पना अधिक स्पष्ट होणे उपकारक ठरेल. तर्काधिष्ठित सरण्यांचा हेतू व रीती समजण्यास ते आवश्यक आहे.

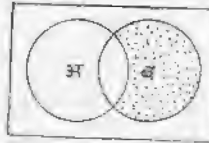
एखादा आशय दुसऱ्या एखाद्या आशयाला कसा व्यापतो किंवा वगळतो (includes or excludes), वेगवेगळ्या आशयांच्या अस्तित्वाचा किंवा अभावाचा लपंडाव कसा होतो हे जाणून घेणे मनोरंजकही आहे. काही कोडीं सोडविताना आप-ल्याला अशा तऱ्हेने विचार करावा लागतो. खाली एक उदाहरण दिले आहे; त्याचा तोंडावळा तसल्या कोड्यासारखाच आहे. पण वर चर्चिलेले सर्व तार्किक आशय किंवा भावार्थ त्याच्या साह्याने स्पष्ट होणार आहेत.

उदाहरण असे आहे :– एका चाळीची पहाणी केली असता असे आढळले की, चाळीतील काही मुले अभ्यासू, अध्ययनशील आहेत व काही मुले शरीरप्रकृतीने बळकट, बलवान, आहेत. तर प्रश्न असा, की चाळीतल्या मुलांचे एकंदर प्रकार किंवा वर्ग किंवा गट किती ? वाचकांपैकी एखादा म्हणेल–दोन प्रकारची मुले असल्याचे इतक्या स्पष्टपणे सांगितल्यावर लगोलग हा प्रश्न विचारण्यात अर्थच काय ? इथे काही शब्दांचा खेळ तर नाहीं ? पण कोणी घाईने असे विधान करू नये. निदान ही गोष्ट लक्षात घ्यावी की, उपरोक्त दोन्ही गुणांचा अभाव असलेली मुलेही चाळीत असतील; त्यांचाही मग एक तिसरा वर्ग ठरतो ! पण एवढ्याने संपत नाही. आणखीही एक वर्ग संभवतो–दोन्ही गुणांनी युक्त असलेल्या मुलांचा! पण विशेष म्हणजे, या वेगवेगळ्या वर्गांच्या अस्तित्वाने

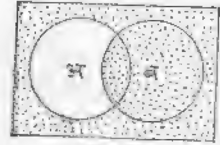
अथवा अभावाने चाळीच्या ज्या वेगवेगळ्या स्थिती असू शकतात, त्या स्थितींच्या तुलना मनोरंजक आणि प्रस्तुत विवेचनाच्या दृष्टीने बोधक आहेत. अशा बाबतीतील वेगवेगळ्या स्थिती दर्शविणाऱ्या समर्पक आकृत्या काढता येतात. त्यांना **वेन आकृत्या** (Venn Diagrams) म्हणतात. केंब्रीजचे तर्कशास्त्रज्ञ **जॉन् वेन्** यांनी अशा आकृत्यांची कल्पना प्रथम सुचविली. वेन आकृत्यांच्या साहाय्याने तुलनेचा अभ्यास सुलभ होतो. आकृती ८·२ पाहा.



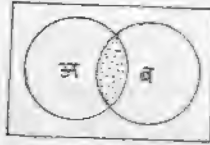
१ अ



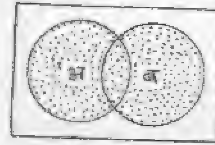
२ ब



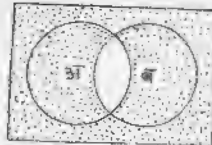
३ ब̄



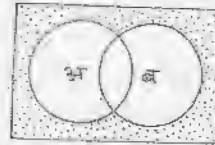
४ अ AND ब



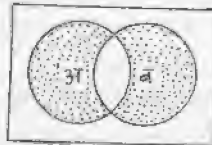
५ अ OR ब



६ अ NAND ब



७ अ NOR ब



८ अ⊕ब

आकृती ८·२ AND, OR इ. आशय व्यक्त करणाऱ्या
' वेन आकृत्या ' (Venn Diagrams)

येथे आता असे समजायचे की, बाहेरच्या चौकटीने संपूर्ण चाळ दर्शविली जाते; अभ्यासू अर्थात अ गटाच्या मुलांचे अस्तित्व/अभाव दर्शविण्याकरता डावीकडील वर्तुळ राखून ठेवले आहे; बलवान अर्थात ब गटाच्या मुलांचे अस्तित्व/अभाव

दर्शविण्याकरता उजवीकडील वर्तुळ राखून ठेवले आहे; तर कोणतेही गुण नसलेल्या (निर्गुण) मुलांकरिता चौकटीतील बाकीची जागा राखून ठेवलेली आहे. त्या त्या प्रदेशात ठिंबे दिलेली असल्यास तेथील सूचित प्रकारची मुले चाळीत असल्याचे व जागा कोरी सोडलेली असल्यास त्या प्रकारची मुले चाळीत नसल्याचें समजायचें. आता ही चित्रे क्रमाने वाचूया. चाळीच्या स्थिती किती वेगवेगळ्या असू शकतात. म्हणजे कल्पनेने संभवतात ते त्यावरून कळेल. (प्रत्यक्ष वस्तुस्थितीचा विचार या वेळी करावयाचा नाही). चित्रांचे अर्थ पुढीलप्रमाने निघतात :—

चित्र १— फक्त अभ्यासू मुले आहेत. बलवान मुले नाहीत, तसेच निर्गुणही नाहीत.

,, २— फक्त बलवान मुले आहेत. अभ्यासू मुले नाहीत, तसेच निर्गुणही नाहीत.

,, ३— बलवान तसेच निर्गुण मुले आहेत. फक्त अभ्यासू मुले तेवढी नेमकी नाहीत. चाळीची ही परिस्थिती चित्र. १ ने दर्शविलेल्या परिस्थितीच्या बरोबर उलट म्हणजे NOT अ आहे. तिला यथार्थतेने $\overline{\text{अ}}$ असे नांव दिले आहे. फक्त बलवान मुलांचा आभाव दर्शविणारे ($\overline{\text{ब}}$) चित्र याप्रमाणेच काढता आले असते; ते काढलेले नाहीं.

,, ४— निर्गुण मुले तर नाहींतच; पण फक्त अभ्यासूपणा तसेच फक्त बळकटपणा असा एकेकटा सद्गुण असलेली मुलेही नाहीत. ज्यांच्या ठिकाणी दोन्ही गुण आहेत तेवढीच मुले चाळीत आहेत. ही परिस्थिति आपण अभ्यासलेला AND चा आशय दर्शविते. म्हणून चित्राचे नाव अ AND ब.

,, ५— कोणत्याही एका किंवा दोन्ही गुणांनी युक्त असलेली मुले चाळीत आहेत. (निर्गुण मुले नाहीत हे येथे महत्त्वाचे नाहीं). ही परिस्थिती नेमका OR चा आशय दर्शविते. अर्थातच चित्राचे नाव अ OR ब.

,, ६— निर्गुण मुले आहेत, व एकेकट्या गुणाने युक्त मुलेही आहेत. पण दोन्ही गुणांनी युक्त असलेल्या मुलांचे नावही काढू नका. तसे एकही मूल चाळीत नाहीं. क्र. ४ च्या AND चित्राने दर्शविलेल्या भावार्थाच्या बरोबर उलट भावार्थ येथे दर्शविला जातो. या चित्राला मग यथार्थतेने अ NAND ब नाव दिले आहे. (NAND = NOT AND).

,, ७— चाळीत न अ गुणाची न ब गुणाची अशी साधी निर्गुण मुले आहेत. ही परिस्थिती अर्थातच वरील OR परिस्थितीच्या नेमकी उलट, NOT OR अर्थात NOR परिस्थिती आहे. चित्राचे नाव अर्थातच अ NOR ब.

,, ८— ही मोठी मजेदार पण महत्त्वाची परिस्थिती आहे, येथे नुसत्या अ किंवा नुसत्या ब प्रकाराचे अस्तित्व आहे. पण त्यांच्या समुच्चयाचे मात्र अस्तित्व नाहीं. (वरवर पाहता ही परिस्थिती AND परिस्थितीच्या उलट–प्रतिरूप–असल्याचे वाटेल. पण निर्गुण मुलांचा अभाव दोन्हीकडे आहे

व या साम्यामुळे प्रतिरूपता पूर्ण होत नाही) ही परिस्थिती OR परिस्थितीचेच एक विशेष (समुच्चय-वर्जी असे) स्वरूप आहे. हिला ' Exclusive OR ' म्हणतात. इंग्रजीत हिचे वर्णन ' either, but not both ' असे ठीक रीतीने करतात. ' Exclusive OR ' दर्शविणारे चिन्ह चित्राखाली दिले आहे. अंकांची बेरीज करणाऱ्या ज्या वीजसरण्या आपल्याला पुढे अभ्यासायच्या आहेत त्यांच्या कार्याचे मर्म या शेवटच्या विशेष आशयाच्या अभिव्यक्तीत आपणास आढळणार आहे एवढेच तूर्त ध्यानी घ्यावे.

या उदाहरणात मुलांच्या केवळ दोन वर्गांचा उल्लेख केला, तर त्यातून इतके विकल्प निघाले ! आपणास अभिप्रेत असलेल्या तार्किक आशयांचे स्वरूप हे असे आहे.

आता पुनः वीजप्रवाहाकडे वळूया.

वर उल्लेखलेल्या ५ सरण्यांना संगणकातील प्राथमिक सरण्या म्हणता येईल. यांतील इष्ट त्या सरण्यांच्या योग्य जुळण्या करून अधिक गुंतागुंतीच्या सरण्या बांधाव्या लागतात, तेव्हा कोठे त्यांतून होणारी विद्युत्स्पंदांची आवक-जावक ही द्विमान अंकांची साधी बेरीज, वजाबाकी इ. क्रिया करण्यास उपयुक्त ठरते ! पुढील प्रकरणांतून या सरण्यांच्या रचना व कार्ये (circuitry & functions) सांगितली आहेत.

वाचकहो, ' विजेवर चालणारा कॉम्प्युटर गणित कसे सोडवतो ' या प्रश्नाचे उत्तर मिळवताना आपल्याला अनेक नवनवीन गोष्टी व त्यांचे परस्परसंबंध समजून घ्यावे लागणार आहेत. त्यात अनाकलनीय असे काही नाही हे निश्चित. पण इतक्या दीर्घ चर्चेनंतरच जर हा हेतू साध्य होणार असेल, तर एखाद्याला त्याविषयी निरुत्साह वाटणे साहजिक आहे. नवनव्या शास्त्रीय संज्ञा, सत्ये व सिद्धांत या कोरड्या गोष्टींच्या वाचनाने कंटाळलेल्या वाचकांकरिता खाली नित्याच्या व्यवहारातले एक उदाहरण देत आहे. त्यावरून या प्रकारच्या ज्ञानाची उपयुक्तता व आवश्यकता समजून येईल, नि आपल्या हेतु-सिद्धीचीही ग्वाही मिळेल.

अंक, तर्कविज्ञान आणि वीजप्रवाह यांमधील परस्परसंबंधांची आपणास केवळ तोंडओळख झाली आहे. पण एवढ्या अल्प ज्ञानाच्या आधारावरही आपण एक परिचित, पण उत्तर ठाऊक नसलेला प्रश्न सोडवू शकू :—

जिन्यात वरच्या टोकाला एक विजेचा दिवा बसवतात व जिन्याच्या दोन्ही टोकांना दोन स्विच बसवलेले असतात, ते असे, की त्यापैकी कोणत्याही स्विचचे बटण हलविताच दिव्याची असलेली स्थिती बदलते, हे आपल्या माहितीचे आहे. आता प्रश्न असा की, या दिव्याचे व दोन स्विचचे वायरिंग कसे करायचे ? ही सरणी कशी जोडायची ? स्वैर कल्पना करून प्रश्नाचे उत्तर सहसा मिळणार नाही. तर्काला पटतील अशा पायरी पायरीने विचार करून प्रश्न सुटेल, व तर्काचे या बाबतीतील महत्त्व प्रतीत होईल.

पहिली गोष्ट स्पष्ट होते ती म्हणजे हे दोन्ही स्विच दुजुटी असले पाहिजेत, म्हणजे स्विचचे बटण वर केल्यावर वीजप्रवाहाचा एक मार्ग तुटत असला तरी दुसरा कोणता तरी मार्ग जोडला गेलाच पाहिजे, मग तो जोडला जाण्याने दिवा लागो अथवा न लागो. थोडक्यात, स्विचच्या दोन्ही अवस्था सारख्याच क्रियाशील असल्या पाहिजेत. (घरातील साध्या स्विचचे बटण वर केल्यानंतरची अवस्था निष्क्रिय असते.)

या निर्णयानंतर स्विचेस्च्या एका अवस्थेला क, ख व दुसऱ्या अवस्थेला $\overline{\text{क}}$, $\overline{\text{ख}}$ अशी नावे देऊन त्यांच्या व दिव्याच्या अवस्थांचा स्थितिपट मांडता येतो. लागलेला दिवा १ ने व विझलेला ० ने निर्देशणे योग्यच ठरते.

आता प्रश्न असा पडतो की, स्थितिपट मांडायला सुरुवात कोठून करायची ? म्हणजे, सुरुवातीस दिवा लागलेला असल्याचे समजायचे ? का विझलेला असल्याचे समजायचे ? तसेच त्यावेळी कोणच्या स्विचची कोणती अवस्था असल्याचे समजायचे ? पण तर्कदृष्ट्या सर्व स्थिती सारख्याच ठरतात; कुठूनही कशीही सुरुवात करण्यास हरकत दिसत नाही. तेव्हा, आपण असे समजू की––

सुरुवातीस दिवा लागलेला = १ आहे; व त्यावेळी स्विचेस्च्या अवस्था क व ख या आहेत. आता स्थितिपट मांडणे खालीलप्रमाणे सुलभ होते :

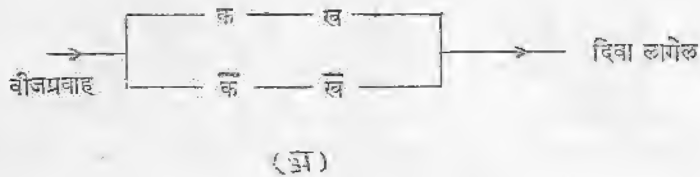
	स्विचेस्च्या अवस्था		दिवा	
सुरुवातीस	क	ख	१	(दिवा लागलेला)
नंतर क बदलला, तर	$\overline{\text{क}}$	ख	०	(दिवा विझला)
नंतर ख बदलला, तर	$\overline{\text{क}}$	$\overline{\text{ख}}$	१	(दिवा पुनः लागला)
नंतर $\overline{\text{क}}$ बदलून पुनः सुरुवातीसारखा केला, तर	क	$\overline{\text{ख}}$	०	(दिवा पुनः विझला)

$\overline{\text{ख}}$ पुनः बदलला तर क्र. १ ची, सुरुवातीची अवस्था दर्शविणारी ओळ मिळेल; तेव्हा त्या कृतीची जरूरी नाही.

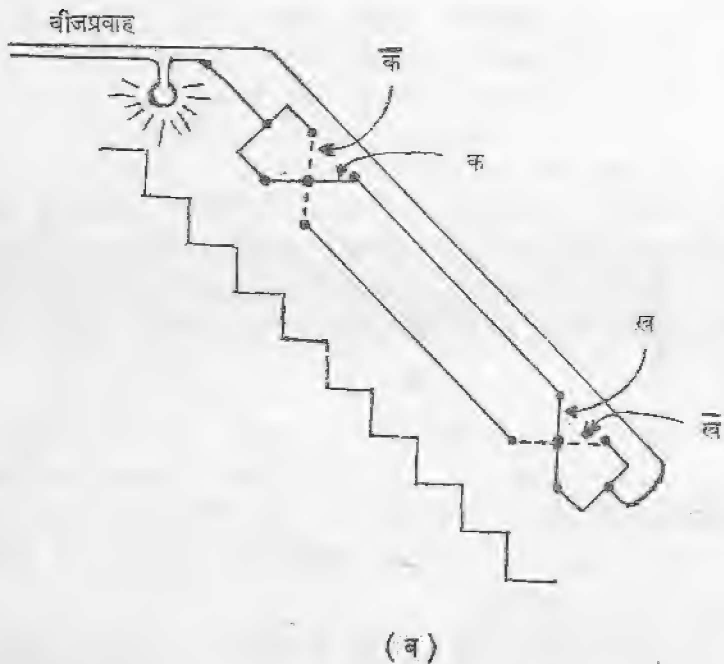
आता स्थितिपटाच्या निष्कर्षाची पाहणी केल्यास असे आढळते की––पहिल्या किंवा तिसऱ्या ओळीतल्याप्रमाणे स्थिती असताना दिवा लागलेला असतो; याचा अर्थ, यापैकी कोणचीही एक उपलब्ध असली तरी दिवा लागण्याचे काम होते. तेव्हा या ओळींनी दर्शविलेल्या रचना समांतर असल्या पाहिजेत, हे तर्काला सहज पटते.

पुढे, दुसरा निष्कर्ष असा निघतो की, या प्रत्येक समांतर रचनेतील प्रत्येक स्विचची स्थिती स्थितिपटात दर्शविल्याप्रमाणेच पाहिजे ! कुणाही एकाची स्थिती बदलली की तो स्विच दिवा विझवणारा–जणू एकसर रचनेत बसवलेला पण off केलेला–असा ठरेल. थोडक्यात, (स्थितिपटाच्या) प्रत्येक ओळीतील स्थिती एकसर रचनेची असल्याचे ठरते.

या निष्कर्षावरून मग इष्ट सरणीचा प्राथमिक आराखडा काढता येतो, आकृती ८·३ (अ) पहा.



(अ)



(ब)

आकृती ८·३ जिन्यातील दिव्याचे वायरिंग
(अ) प्राथमिक आराखडा; (ब) प्रत्यक्ष सरणी

नंतर या आराखड्यावरून प्रत्यक्ष सरणीचे चित्रही काढता येते. दोन बीज प्रवाहांचे नियंत्रण करणारे दुजुटी (double throw) स्विच या कामी आवश्यक आहेत हे आधीच ठरले आहे. आकृती ८·३ (ब) पहावी, व ती स्थितिपटातील, म्हणजेच आपल्या प्रस्तुतच्या प्रॉब्लेममधील सर्व घटना यथार्थतेने दर्शवीत असल्याचे तपासून पहावे.

वरील उदाहरण एका प्रायोगिक घटनेचे होते. खाली आपली एक काल्पनिक पण मनोरंजक उदाहरण दिले आहे. त्यामध्ये तर्क, अंक आणि बीज (विशेषतः तर्क आणि अंक) यांचे संबंध अधिक खुलाशाने सांगितले आहेत. बूलच्या बीजगणिताचा आवश्यक तो अभ्यासही त्या उदाहरणाच्या वाचनाने होणार आहे. प्रस्तुत प्रकरणातील माहितीचा ते उदाहरण म्हणजे एक उत्तम अभ्यास (exercise) ठरेल.

उदाहरण असे आहे :— समजा अनेक जिज्ञासू व्यक्तींना प्रस्तुत ' कॉम्प्युटर ' या विषयाबद्दलच माहिती करून घ्यायची आहे. तज्ञ विद्वानांनी याकरिता दोन पुस्तके वाचण्याची शिफारस केलेली आहे. पण हे जिज्ञासू वाचक व ही पुस्तके यांच्या बाबतीत घोटाळा असा आहे की, काहींना त्या पुस्तकांपैकी एक किंवा दोन्ही पुस्तके बाजारात मिळतच नाहीत ! (ती मिळती तर त्यातील मजकूर समजण्याची त्या वाचनेच्छूंची क्षमता असेलही कदाचित, पण उपयोग काय ?) आणि काहींना एक किंवा दोन्ही पुस्तके बाजारात मिळाली, तरी त्यातले काही कळतच नाही ! म्हणजे या विषयाच्या ज्ञानप्राप्तीच्या मार्गात जिज्ञासू वाचकापुढे एकंदर ४ अडचणी आहेत :—

(१) पहिले पुस्तक न मिळणे, (२) त्यातील मजकूर न कळणे, (३) दुसरे पुस्तक न मिळणे व (४) त्यातील मजकूर न कळणे. अर्थात कुणाच्या काही तर कुणाच्या काही अडचणी दूर झाल्या असतील, पण प्रत्येक वाचकाची स्थिती दुसऱ्याच्या पेक्षा वेगळी आहे ! तेव्हा या विविधतेच्या दृष्टीने वाचकांचे एकंदर प्रकार किती होतात ते प्रथम काढायचे व नंतर त्यांच्या तुलनेतून काय निष्कर्ष निघतात ते पाहायचे, असे या उदाहरणाचे स्वरूप आहे.

वाचकांचे एकंदर प्रकार किती होतात ते काढण्याचा हिशेब सोपा आहे.—एकंदर अडचणी आहेत ४ आणि त्या प्रत्येक अडचणींच्या बाबतीत एकंदर शक्यता असू शकतात २, ' अडचण आहे ' किंवा ' अडचण नाही '; म्हणून २ ला ४ चा घातांक लावून या प्रश्नाचे उत्तर मिळते– $२^४ = १६$. म्हणजे एकंदर १६ प्रकारचे वाचक या बाबतीत निघतात. (आपल्याला प्रत्येक प्रकारचा एकच वाचक विचारात घ्यायचा आहे)

आता या १६ (प्रकारच्या) वाचकांच्या अडचणींचा स्थितिपट मांडला की त्यांची तुलना सोपी होते. स्थितिपट मांडताना अंकांचा उपयोग कसा करायचा हे आता आपल्या परिचयाचे आहे. पुस्तक मिळत असल्यास " १ " व मिळत नसल्यास " ० " या अंकांनी आपण ती परिस्थिती दर्शवू; तसेच ते कळत असल्यास " १ " ने व कळत नसल्यास " ० " ने दर्शविणे रास्त ठरते. पुढील स्थितिपट पहा :

		अभ्यंकर	बखले																
	वाचक क्र.	(अ)	(ब)	०	१	२	३	४	५	६	७	८	९	१०	११	१२	१३	१४	१५
पुस्तक १	मिळते	०	०	०	१	०	१	०	१	०	१	०	१	०	१	०	१	०	१
	कळते	०	१	०	०	१	१	०	०	१	१	०	०	१	१	०	०	१	१
पुस्तक २	मिळते	१	०	०	०	०	०	१	१	१	१	०	०	०	०	१	१	१	१
	कळते	१	१	०	०	०	०	०	०	०	०	१	१	१	१	१	१	१	१

वाचकांपैकी कोणते तरी दोन वाचक, अभ्यंकर व बखले (म्हणणेच अ व ब) यांच्या परिस्थितींची नोंद तक्त्याचे सुरुवातीस पुनः केली आहे; कारण त्यांच्या परिस्थितींशी इतरांच्या परिस्थितींची तुलना करायची आहे व त्यातून वर विवेचिलेले AND वगैरे संबंध कसे आढळतात ते पाहायचे आहे. (क्र. १२ व क्र. १० हे वाचक म्हणजेच अ व ब असल्याचे सहज ध्यानी येईल).

गुणाकार आणि AND ने व्यक्त होणारा तार्किक आशय, तसेच बेरीज आणि OR ने व्यक्त होणारा आशय (आणि अर्थात् त्या त्या आशयानुसार काम करणाऱ्या वीजसरण्या) यांचे समानशीलत्व आपणांस समजले आहे. उलटीकरण करणाऱ्या NOT चीही माहिती आहे. आता या १६ वाचकांच्या प्रत्येकी ४/४ अडचणींच्या १६ संचांमधून (सेटस्‌मधून) हे संबंध हुडकून काढायचे आहेत. प्रत्यक्ष करायचे ते असे : एका वाचकाच्या अडचणी व्यक्तविणारे ४ अंक व दुसऱ्या वाचकाच्या अडचणी त्याच क्रमाने व्यक्तविणारे दुसरे ४ अंक यांतील अंक–जोड्यांच्या तुलना करायच्या, गुणाकार करायचे, बेरजा करायच्या, त्यातून मिळणाऱ्या अंकांच्या अन्य वाचकांच्या अंकांशी पुनः तुलना करायच्या इ.

प्रथम NOT चे सोपे उदाहरण घ्या :—अ च्या अडचणी दर्शविणारे अंक वरून खाली ०, ०, १, १ असे आहेत. यांच्या बरोबर उलट १, १, ०, ० हे अंक क्र. ३ च्या वाचकाचे आहेत. म्हणून अ = (NOT क्र. ३), अर्थात NOT अ = क्र. ३ असा निष्कर्ष निघतो.

संक्षेपाने, $\overline{\text{अ}}$ = क्र. ३ ....(१)

मग त्याच चालीवर $\overline{\text{ब}}$ = क्र. ५ ....(२)

पुढे, अ AND ब अर्थात अ × ब यांतून जे अंक मिळतात ते अंक क्र. ८ चे असल्याचे आढळते.

म्हणून संक्षेपाने अ AND ब = अ · ब = क्र. ८........(३)

[गणितात गुणाकाराच्या (×) चिन्हाऐवजी सोयीप्रमाणे (·) हे चिन्हही वापरतात.]

वरच्याच चालीवर अ OR ब = अ + ब = क्र. १४........(४)

कथा-कथनाच्या दृष्टीने असे म्हणता येईल की, क्र. ८ चा वाचक हा अ आणि ब या प्रत्येकाकडे विशिष्ट पुस्तक असले तरच ते मागेल व त्या प्रत्येकाला विशिष्ट ज्ञान असले तरच त्यांच्याकडून ते समजावून घेईल. एका दृष्टीने तो अडेल प्रवृत्तींचा वाचक आहे. याच्या उलट क्र. १४ चा वाचक अधिक ज्ञानपिपासू दिसतो तो अ किंवा ब यापैकी एकाकडे जरी पुस्तक असले तरी मागणार, व दोघांपैकी कुणा एकालाही इच्छित माहिती असली तरी ती त्याच्याकडून समजून घेणार; पहा, या वाचकांचे अंक हेच सांगतात. खरे तर वाचकांच्या स्वभाव-गुणांशी आपणाला काही कर्तव्य नाही, पण त्यांच्या प्रवृत्ती आणि एकसर व समांतर सरण्या यांच्या कार्यप्रवृत्ती यांमधील साम्य ध्यानी आणावे, म्हणून हा उल्लेख केला.

आता (३) व (४) या समीकरणांचे उलटीकरण केल्यास,

$$\text{अ NAND ब} = \overline{\text{अ} \cdot \text{ब}} = \overline{\text{क्र. ८}} = \text{क्र. ७} \ldots\ldots (५)$$

तसेच

$$\text{अ NOR ब} = \overline{\text{अ} + \text{ब}} = \overline{\text{क्र. १४}} = \text{क्र. १} \ldots\ldots (६)$$

असे निकाल मिळतात. सामुदायिक ऊर्ध्वरेषेने अर्थातच सामुदायिक उलटीकरण होते.

आता सुरुवातीच्या (१) व (२) या समीकरणांतून मिळणाऱ्या, वाचक क्र. ३ व ५ यांच्या अंकांच्या संचांवर AND, OR क्रिया केल्यास काय मिळते ते पहा :

वाचक क्र. ३ आणि क्र. ५ यांच्या अंकांच्या गुणाकाराने म्हणजेच $\overline{\text{अ}} \cdot \overline{\text{ब}}$ या संयुक्त पदाने क्र. १ या वाचकाचे अंक मिळतात; म्हणून संक्षेपाने

$$\overline{\text{अ}} \text{ AND } \overline{\text{ब}} = \overline{\text{अ}} \cdot \overline{\text{ब}} = \text{क्र. १} \ldots\ldots (७)$$

तसेच त्यांच्या बेरजेने म्हणजे $\overline{\text{अ}} + \overline{\text{ब}}$ या संयुक्त पदाने क्र. ७ या वाचकाचे अंक मिळतात म्हणून संक्षेपाने

$$\overline{\text{अ}} \text{ OR } \overline{\text{ब}} = \overline{\text{अ}} + \overline{\text{ब}} = \text{क्र. ७} \ldots\ldots (८)$$

आतां समीकरणे (५), (६), (७), (८) यांचे निरीक्षण करा आणि पहा— दोन आश्चर्यजनक समीकरणे निघतात ! ती अशी :

$$\overline{\text{अ} \cdot \text{ब}} = \overline{\text{अ}} + \overline{\text{ब}} = \text{क्र. ७} \ldots\ldots (९)$$

आणि

$$\overline{\text{अ} + \text{ब}} = \overline{\text{अ}} \cdot \overline{\text{ब}} = \text{क्र. १} \ldots\ldots (१०)$$

वरवर पाहता विचित्र दिसणाऱ्या या समीकरणांना **डी मॉर्गन्‌ची प्रमेये** म्हणतात. बूलच्या बीजगणितातली ही महत्त्वाची प्रमेयें आहेत. **डी मॉर्गन्** (de Morgan) हा एक थोर तत्त्वज्ञ, गणितज्ञ **बूलचा** मित्र होता. त्याने ही प्रमेये प्रथम मांडली. ही प्रमेयें सिद्ध करणे कठिण नाही. पण त्याकरता, बूलच्या बीजगणिताचे काही प्राथमिक सिद्धांत किंवा नित्यसमा (Identities), ज्या साध्या बीजगणितातल्यापेक्षा वेगळया आहेत, त्या आधी समजून घेतल्या पाहिजेत. त्यापैकी एक नित्यसमा आपल्या पूर्ण परिचयाची झाली आहे. ती म्हणजे १ + १ = १. [पण गंमत म्हणून, याच नित्यसमेची/समीकरणाची आपणास माहीत असलेली आणखी दोन उत्तरें येथे सांगतो :

१ + १ = २ हे समीकरण तर आपण बालपणापासून शिकलो
१ + १ = १० येथे द्विमान पद्धतीने २ हीच संख्या मांडली आहे.
} अर्थात बूलच्या गणिताला ही समीकरणे लागू नाहीत].

आणखी काही नित्यसमा पुढीलप्रमाणे आहेत :

$१ = \overline{0}$, $\overline{१} = 0$;
$\text{अ} + 0 = \text{अ}$, $\text{अ} \cdot 0 = 0$;
$\text{अ} \cdot १ = \text{अ}$ यात विशेष काही नाही, पण
$\text{अ} + १ = १$ हे फक्त बूलच्या गणितातच लागू आहे.

पुढे, $\text{अ} + \text{अ} = \text{अ}$ (२ अ नव्हे);
$\text{अ} \cdot \text{अ} = \text{अ}$ (अ^2 नव्हे);
$\text{अ} + \overline{\text{अ}} = १$;
आणि $\text{अ} \cdot \overline{\text{अ}} = 0$
} या नित्यसमा महत्त्वाच्या आहेत.

या नित्यसमांचें (तसेच त्यांच्यावर आधारित असलेल्या गुंतागुंतीच्या समीकरणांचे) सत्यत्व सुलभतेने पडताळून पाहता येते. त्याची एक सोपी रीत म्हणजे, नित्यसमेतील अक्षरांना 0 व १ ही मूल्ये आलटून-पालटून देऊन ती सोडवायची. ही झाली शुद्ध गणिती रीत. बीजसरणीच्या ज्ञानाच्या आधारेही ताळा काढता येतो. त्याकरता असे करायचे : ती अक्षरे हे जणू योग्य त्या (म्हणजे (+) चिन्ह असल्यास समांतर व (·) चिन्ह असल्यास एकसर) सरणीतील स्विच असल्याचे समजून व त्यांना आलटून-पालटून on, off समजून (म्हणजेच १, 0 ही मूल्ये देऊन) सरणीतून निघणाऱ्या प्रवाहाचे मूल्य त्याच रीतीने काढायचे.

या माहितीच्या आधारावर आता डी मॉर्गन ची प्रमेये सहज सोडवता येतात. (९) मधील पहिले प्रमेय घेऊ (अधिकृत रीत्या याला दुसरे प्रमेय म्हणतात). $\overline{\text{अ}} + \overline{\text{ब}} = \overline{\text{अब}}$ हे सिद्ध करायचे आहे. त्याकरता—

जर अ = ०, ब = ०, तर डावी बाजू उजवी बाजू

$$\overline{\text{अ}}+\overline{\text{ब}} = \overline{\text{०}}+\overline{\text{०}} = \text{१}+\text{१} = \text{१} \qquad \overline{\text{अब}} = \overline{\text{०}\cdot\text{०}} = \overline{\text{०}} = \text{१}$$

जर अ = १, ब = ०, तर

$$\overline{\text{अ}}+\overline{\text{ब}} = \overline{\text{१}}+\overline{\text{०}} = \text{०}+\text{१} = \text{१} \qquad \overline{\text{अब}} = \overline{\text{१}\cdot\text{०}} = \overline{\text{०}} = \text{१}$$

जर अ = ०, ब = १, तर

$$\overline{\text{अ}}+\overline{\text{ब}} = \overline{\text{०}}+\overline{\text{१}} = \text{१}+\text{०} = \text{१} \qquad \overline{\text{अब}} = \overline{\text{०}\cdot\text{१}} = \overline{\text{०}} = \text{१}$$

शेवटी, जर अ = १, ब = १, तर

$$\overline{\text{अ}}+\overline{\text{ब}} = \overline{\text{१}}+\overline{\text{१}} = \text{०}+\text{०} = \text{०} \qquad \overline{\text{अब}} = \overline{\text{१}\cdot\text{१}} = \overline{\text{१}} = \text{०}$$

अ, ब यांना मूल्ये देण्याच्या एकंदर ४ संभाव्य पर्यायांपैकी प्रत्येक पर्यायाचे वेळी समीकरणाच्या डाव्या बाजूचे उत्तर उजव्या बाजूच्या उत्तराइतकेच आले. अर्थात डी मॉर्गन्चे एक प्रमेय सिद्ध झाले. दुसरे (अधिकृत रीत्या पहिले) प्रमेयही याच-प्रमाणे सोडविता येते. वाचकांनी ते अवश्य सोडवून पहावे.

वरील सर्व विवरण केवळ आकडेमोडीचे नि अक्षरमोडीचे भासले तरी वीज-सरण्यांची रचना करताना तसेच त्या समजून घेताना फार उपयोगाचे आहे. या कारणेच त्याला Switching Algebra (वीजसरण्यांचे बीजगणित) असेही अन्य नाव आहे. या उपयुक्ततेचा प्रत्यय पुढील प्रकरणातच येईल.

जाता जाता तक्त्यातील आणखी एका वाचकाच्या—क्र. ६ च्या वाचकाच्या परिस्थितीकडे लक्ष देऊ. त्याच्या अंकांचा अ, ब यांच्या अंकांशी काही संबंध आढळतो का ? त्यांच्या अंकांचा AND द्वारा निघणारा संबंध तर क्र. ६ शी मुळीच जमत नाही. OR ने योग्य तो संबंध क्र. १४ शी जमत असल्याचे तक्त्यात आढळते, पण क्र. ६ शी सुद्धा OR ने अंशतः संबंध जमतो; पहा :

अ ब	वाचक क्र. १४	वाचक क्र. ६
० + ०	= ०	०
० + १	= १	१
१ + ०	= १	१
१ + १	= १	० ?

फक्त शेवटच्या ओळीत गोष्ट जमत नाही, कारण क्र. ६ चा अंक ० आहे. पण आपल्याला वीजसरण्यांच्या साह्याने गणित सोडवायचे आहे त्या दृष्टीने हा संबंध फार महत्त्वाचा आहे एवढेच याविषयी आता सांगता येईल. पुढे अधिक कळणार आहे. आधी कुणाचा तर्क चालतो का पहा.

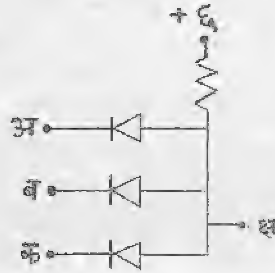
प्रस्तुत पुस्तकाचे वाचक हो, शास्त्र चर्चेतल्या या सर्व शब्दजंजाळाचा तुम्हाला कंटाळा आला असणार. पण वरील उदाहरणाच्या भाषेत म्हणायचे तर तुम्ही सर्वजण क्र. १०, ११, १४, १५ या प्रकारांत बसणारे वाचक असल्याचे मी समजतो. उत्साह मावळू न देता या पुस्तकाचे वाचन चालू ठेवल्यास संगणकाविषयी माहिती तुम्हाला मिळेलच मिळेल !

प्रकरण : ९

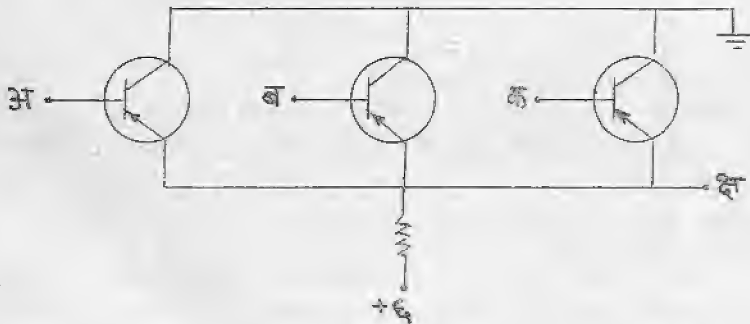
तर्काधिष्ठित सरण्यांच्या रचना व कार्ये

तर्कसरण्यांच्या सोप्या जुळण्या

या सरण्यांची नावे आणि तार्किक प्रवृत्ती समजून घेतल्याने आता त्यांच्या रचना व कार्यांची रीती समजणे सोपे होणार आहे.



(१)



(२)

आकृती ९·१. तीन निविष्ट असलेल्या AND सरण्या.
(१) डायोडयुक्त, (२) ट्रॅन्झिस्टरयुक्त.

NOT सरणी.— ट्रॅन्झिस्टर हा वीजकीय घटक (electronic component), मग तो PNP किंवा NPN कोणत्याही प्रकारचा असो, NOT सरणीचे काम करतो हे प्रकरण ७ मध्ये आपण पाहिले. त्याला योग्य ते निविष्ट वर्चस् पुरविले जाताच त्याचे उद्गत शून्य होते, व निविष्ट बंद होताच नियोजित उद्गत वर्चस मिळते. आकृती ७·३ हे या सरणीचेच चित्र होय. येथे ते पुनः काढले नाही.

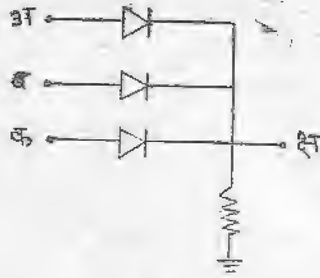
AND सरणी.— आकृती ९·१ मधील चित्रे पाहावीत. (१) मधील चित्र डायोड-युक्त सरणीचे आहे. सरणीला मूळचे म्हणजे अंगभूत धनवर्चस (समजा ६ व्होल्ट) डायोडांच्या मागील बाजूस पुरविलेले आहे, व तिला **अ, ब, क** हे ३ निवेशन-मार्ग (input channels) आहेत. डायोडमधून वाहणाऱ्या प्रवाहाचे नियंत्रण करणारे वर्चस् या ३ मार्गांनी पुरवता, किंवा पुरवण्याचे टाळता येते. **क्ष** हे अपेक्षित उद्गत वर्चस् आहे. अ, **ब, क** यापैकी एका जरी बिंदूतून करावयाचा तो धन पुरवठा टाळला, म्हणजे तेथे 0 व्होल्ट पुरविले, म्हणजेच तो बिंदू जणू भूमीला जोडला, तर त्या मार्गातून प्रवाह भूमीत वाहून सरणीला पुरविलेले धनवर्चस् खर्च होईल, व **क्ष**चे मूल्य 0 व्होल्ट होईल. तिन्हीच्या तिन्ही मार्गांनी जर प्रत्येकी ६ व्होल्ट पुरविले तरच प्रवाह वाहणार नाही व उद्गत मार्गाने मिळणाऱ्या **क्ष** चे मूल्य प्रायः ६ व्हो. असेल.

(२) मधील AND सरणी तीन ट्रॅन्झिस्टर बसवून बांधलेली आहे. हे PNP ट्रॅन्झिस्टर असल्याने त्यांच्या बेसला पुरेसे ऋण–वर्चस पुरविल्याने ते वाहक बनतील हे उघडच आहे. पण काहीच वर्चस् न पुरविल्याने, म्हणजे 0 व्होल्ट पुरविल्याने, दुसऱ्या शब्दात, बेस भूलग्न केल्यास, स्रावक–बेस या युग्मातून किंचित वाहकता उरेल. हे टाळण्याकरता येथे प्रत्येक ट्रॅन्झिस्टरच्या बेसला पुरेसे धन-वर्चस पुरवावे लागते. मगच ती युग्मे दुर्वाहक होतात व सरणीला पुरविलेल्या मूळ धन वर्चसाचा रोधकातून अत्यल्प व्यय होऊन प्रायः ते सर्व वर्चस **क्ष** येथून उद्गत म्हणून मिळते.

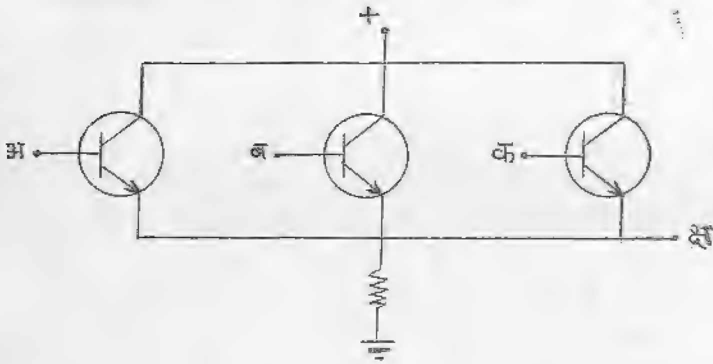
OR सरणी.—आकृती ९·२ मध्ये या सरणीच्याही डायोडयुक्त व ट्रॅन्झिस्टरयुक्त अशा दोन्ही रचना दाखविल्या आहेत. (१) मधील डायोडांच्या दिशा वरील AND सरणीतील डायोडांच्या दिशेच्या उलट आहेत. त्यामुळे वीजप्रवाहाचे नियंत्रण कसे होत असेल ते ध्यानी येईल. येथे अ, ब, क पैकी एका जरी मार्गाने धन-वर्चस निविष्ट केले तरी ते **क्ष** येथे उद्गत म्हणून उपलब्ध होईल-

(२) मधील ट्रॅन्झिस्टरयुक्त सरणीचे कार्यही सहज लक्षात येते. हे NPN ट्रॅन्झिस्टर असल्याने त्यांपैकी एकाच्या किंवा अधिकांच्या बेसला पुरेसे धन-वर्चस् पुरविताच तो/ते वाहक बनून सरणीला ग्राहकावाटे पुरविलेले धन-वर्चस **क्ष** बिंदूतून प्राप्त होते.

[चाणाक्ष वाचकांना वरील दोन्ही सरण्यांत बसविलेल्या ट्रॅन्झिस्टरांच्या कार्याबाबत एक गोष्ट खटकली असेल; कारण ते ट्रॅन्झिस्टर ' न–करणाचे ' काम करीत नाहीत, तर ' हो–करणाचे ' काम करतात ! दोन्ही सरण्यांत ट्रॅन्झिस्टरांच्या बेसमध्ये योग्य वर्चस



(१)



(२)

आकृती ९·२. **तीन निविष्टे असलेल्या OR सरण्या..**
(१) डायोडयुक्त, (२) ट्रॅन्झिस्टरयुक्त.

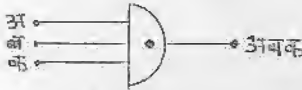
निविष्ट केल्याने, म्हणजे निविष्ट अस्तिपक्षी केल्याने उद्गत अस्तिपक्षी लाभते! या विसंगतीचे कारण असे की दोन्ही ठिकाणी उद्गत हे स्रावकाला (emitter ला) जोडलेल्या तारेतून मिळवले आहे; मागे वर्णिल्याप्रमाणे, आणि बहुतेक वेळा असते तसे, ग्राहकाच्या (collector च्या) तारेतून नव्हे. ट्रॅन्झिस्टरच्या अशा जुळणीला emitter follower अशी संज्ञा आहे. हे साम्य सोडल्यास त्या सरण्यांत परस्परांत सर्व फरकच आहे. AND सरणीत PNP ट्रॅन्झिस्टर बसविलेले असून त्यातील एकही वाहक न होऊ देण्याने उद्गत लाभणारे आहे, तर OR सरणीतील NPN ट्रॅन्झिस्टर (त्यातील निदान एक तरी) वाहक होईल असे केल्याने उद्गत मिळणार.]

NAND, NOR या सरण्यांची प्रत्यक्ष रचना दर्शविणारी चित्रे काढण्याची

आवश्यकता नाही. AND, OR या सरण्यांपुढे प्रत्येकी एक एक NOT सरणी जोडून त्या बांधतात हे आपणास ज्ञात आहे. या पाच सरण्या, अधिक मोठ्या संयुक्त सरण्यामध्ये गुंफलेल्या दाखविताना त्यांच्या सांकेतिक चिन्हांनी दाखवितात. आकृती ९.३ मध्ये ती चिन्हे दर्शविली आहेत.



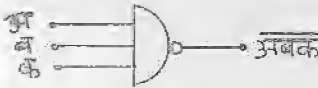
NOT



AND



OR



NAND

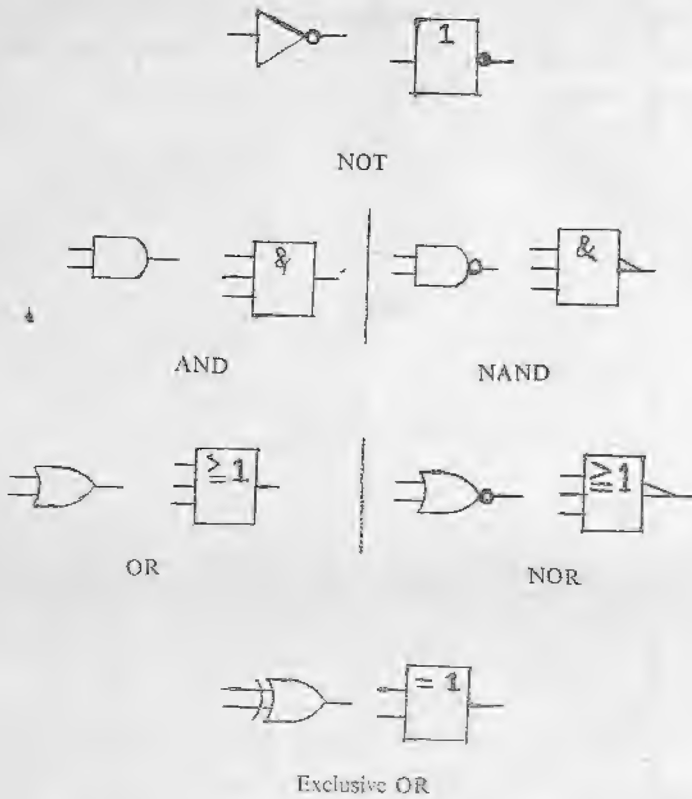


NOR

आकृती ९·३. **तर्काधिष्ठित सरण्यांची सांकेतिक चिन्हे, त्यांची निविष्टे, उद्‌गते** (inputs and outputs).

NOT सरणीला एकच निविष्ट असते; बाकीच्या प्रत्येकीला दोन किंवा अधिक निविष्टे असू शकतात. (येथे प्रत्येकी तीन तीन निविष्टे दाखविली आहेत.) NOT सरणीच्या टोकाजवळील लहान पोकळ वर्तुळ न-करणाचा आशय दर्शविते. NAND, NOR यांच्या चित्रांमध्ये हेच वर्तुळ उपयोजिले आहे. AND सरणीच्या चित्रातील भरीव काळे टिंब गुणाकाराची, तर OR, NOR मधील + चिन्ह बेरजेची कृती सुचविते.

या सरण्यांच्या अ, ब, क या तीन निविष्टांमधून ' होणाऱ्या ' किंवा ' न होणाऱ्या ' वीजपुरवठ्यानुसार त्यांमधून अपेक्षित वीजवर्चस क्ष हे उद्‌गत ' होते ' का 'होत नाही ' हे दर्शविणारे स्थितिपट पुढे पृष्ठ ८९ वर दिले आहेत. ' होकार ' "१" ने व ' नकार ' "0" ने दर्शविला जातो हा संकेत आता परिचित आहे. अशा सरण्यांना दोन किंवा अधिक निविष्टे असतात. येथे प्रत्येकी ३ निविष्टे असल्याने प्रयोगाचे वेगवेगळे प्रकार $२^३ = ८$ होतात.



आकृती ९.३ अ. **तर्कसरण्यांची आंतरराष्ट्रीय मान्यता असलेली चिन्हे**

टीप :—आकृती ९.३ मध्ये तर्क-सरण्यांची निदर्शक अशी जी चिन्हे (किंवा चित्रे) दाखविली आहेत, ती, अनेक लेखकांनी आपापल्या पुस्तकात वापरली आहेत. प्रस्तुत पुस्तकात सर्वत्र तीच वापरली आहेत. प्रस्तुत पुस्तकाचे लेखन प्रायः पूर्ण झाल्या-नंतर, आंतरराष्ट्रीय मान्यता बहुतांशाने मिळालेल्या चिन्हांचा तक्ता हाती आला. ती चिन्हे आकृती ९.३ अ मध्ये दर्शविली आहेत. नव्या संकेतान्वये या सरण्यांकरता, इष्टतर चौकोनी आकृतींची चिन्हे सुद्धा योजता येतात, हे दिसून येईल.

या फरकामुळे विषयाच्या विवेचनात कोणताही उणेपणा येण्याचे कारण नाही, हे उघड आहे.

अ	ब	क	क्ष (AND)	क्ष (NAND)
०	०	०	०	१
१	०	०	०	१
०	१	०	०	१
०	०	१	०	१
१	१	०	०	१
१	०	१	०	१
०	१	१	०	१
१	१	१	१	०

अ	ब	क	क्ष (OR)	क्ष (NOR)
०	०	०	०	१
१	०	०	१	०
०	१	०	१	०
०	०	१	१	०
१	१	०	१	०
१	०	१	१	०
०	१	१	१	०
१	१	१	१	०

अ	क्ष (NOT)
०	१
१	०

तर्क–सरण्यांच्या कृती दर्शविणारे स्थितिपट.

प्रत्यक्ष गणित सोडविणारी–आकडेमोड करणारी–वीजसरणी कशी असू शकेल हे जाणण्याची उत्सुकता आपणास लागलेली आहे. पण ती सरणी समजण्याकरता, वरील प्राथमिक तर्क-सरण्यांच्या परस्पर–जुळण्यांनी सिद्ध होणाऱ्या काही संयुक्त सरण्या आधी अभ्यासाव्या लागतील. अशा संयुक्त सरणींची सांकेतिक आकृती, तसेच तिची कृती दर्शविणारे बीजगणिती विधान, व अशा विधानातील समीकरण सोडविणे इ. माहितीचा अधिक परिचय होणे क्रमप्राप्त आहे. याकरिता, बूलच्या बीजगणितात लागू असणाऱ्या व नित्याच्या गणितातल्यापेक्षा वेगळ्या, अशा ज्या नित्यसमा (identities) गेल्या प्रकरणी सांगितल्या होत्या त्या पुनः पहाव्या. येथे त्यांचा पुनरोल्लेख केला आहे :—

$१ = \overline{०}$; $\overline{१} = ०$; $१ + १ = १$;

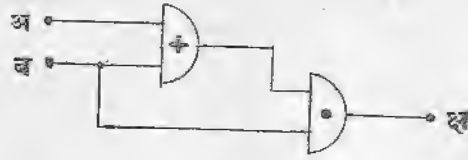
$अ + १ = १$; तसेच $अ + अ = अ$ (२अ नव्हे), $अ \cdot अ = अ$ ($अ^२$ नव्हे)

$अ + \overline{अ} = १$ आणि $अ \cdot \overline{अ} = ०$

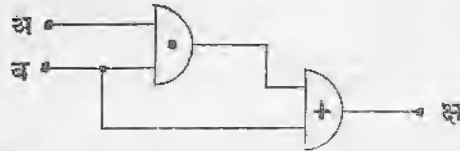
(साध्या बीजगणितातल्याप्रमाणे गुणिले-चिन्ह-दर्शक टिंबाचा लोप करून अ · अ याऐवजी नुसते अअ लिहिता येते. पुढे अशी पदे आढळतील.)

आता या माहितीच्या आधारावर आधी दोन सोप्या जुळण्या पाहू.

सरणी वाचताना निविष्टाकडून उद्गताकडे वाचत जाऊन त्या क्रमाने तिचे विधान लिहायचे असते. नंतर हे विधान बूलच्या नियमान्वये सोडविल्यास सरणीच्या उद्गताचा बोध होतो.



क्ष = (अ + ब) ब



क्ष = अब + ब

आकृती ९·४. सोप्या संयुक्त सरण्या

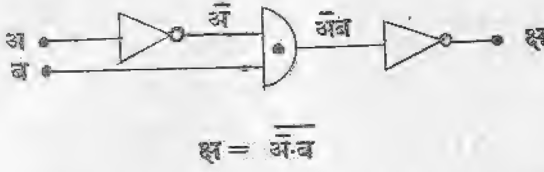
वरचे चित्र	खालचे चित्र
क्ष = (अ + ब) ब	क्ष = अब + ब
= अब + बब	= ब (अ + १)
= अब + ब	= ब (१)
= ब (अ + १)	= ब
= ब (१)	
= ब	

यातून निष्कर्ष हा निघाला की, या दोन्ही सरण्यांचे उद्‌गतमूल्य सारखेच आहे, व ते ब आहे. हाच निष्कर्ष अ, ब यांना आलटून पालटून ०, १ ही मूल्ये देऊन ही काढता येतो :

	वरचे चित्र	खालचे चित्र
जर अ = ०, ब = ०	तर क्ष = (० + ०)० = ०	क्ष = (०·०)+० = ०
जर अ = १, ब = ०	तर क्ष = (१ + ०)० = ०	क्ष = (१·०)+० = ०
जर अ = ०, ब = १	तर क्ष = (० + १)१ = १	क्ष = (०·१)+१ = १
शेवटी, जर अ = १, ब = १	तर क्ष = (१+१)१ = १	क्ष = (१·१)+१ = १

बारकाईने पाहिल्यास, दोन्ही संचांच्या सर्व चारी पर्यायांत ब चेच मूल्य क्ष ला असल्याचे आढळते. अ चे मूल्य क्षच्या मूल्याशी जमतेच असे नाही.

आता ही पुढची सरणी पहा :—



$$क्ष = \overline{\bar{अ}\cdot ब}$$

आकृती ९·५. **न-करण व सामुदायिक न-करण दर्शविणारी सरणी**

सरणीकडे लक्ष टाकताच व चित्राखालील तिचे विधान वाचताच ध्यानात येईल की येथे नकारात्मक (एवढेच नव्हे तर नकारावर नकार असलेले) पद बसविलेले आहे. यामुळे तिचा अभ्यास महत्त्वाचा आहे. नेहमीप्रमाणे तिच्या निविष्टांना ०, १, ही मूल्ये देऊन विधान सोडवू :—

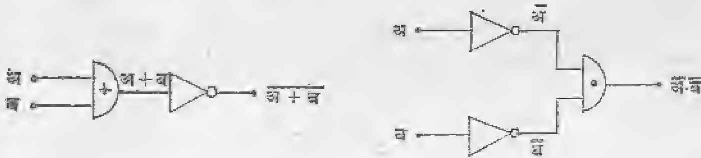
जर अ = ०, ब = ०, तर $क्ष = \overline{\bar{०}\cdot ०} = \overline{१\cdot ०} = \bar{०} = १$

जर अ = १, ब = ०, तर $क्ष = \overline{\bar{१}\cdot ०} = \overline{०\cdot ०} = \bar{०} = १$

जर अ = ०, ब = १, तर $क्ष = \overline{\bar{०}\cdot १} = \overline{१\cdot १} = \bar{१} = ०$

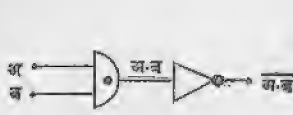
आणि शेवटी, जर अ = १, ब = १, तर $क्ष = \overline{\bar{१}\cdot १} = \overline{०\cdot १} = \bar{०} = १$

येथे आपण समीकरण सोडविले असे म्हणता येत नाही. वेगवेगळ्या परिस्थितीतली क्ष ची मूल्ये काढली एवढेच· पण $\overline{\bar{अ}\cdot ब}$ हे क्षचे मूल्य दर्शविणारे विधान यापेक्षा साध्या रूपात मांडता येईल का ? हो, अवश्य मांडता येते ! पण ते कसे शक्य होईल हे समजण्याकरता बूलच्या गणितातील आणखी दोन नित्यसमा कळल्या पाहिजेत. पुढील सरण्यांच्या अभ्यासावरून त्या कळतील.

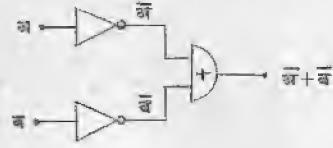


आकृती ९·६. **डी मॉर्गन्‌च्या पहिल्या प्रमेयाच्या आकृत्या.**

आकृती ९·६ मधील सरण्यांचा आधी विचार करू. त्या **डी मॉर्गन्‌**च्या पहिल्या प्रमेयाविषयीच्या सरण्या आहेत. या थोर गणितज्ञाच्या नावाचा उल्लेख मागील प्रकरणात आला आहे. डावीकडील NOR सरणी केवळ दोन घटक सरण्यांची बनलेली आहे



(१)



(२)

आकृती ९·७ **डी मॉर्गन्‌च्या दुसऱ्या प्रमेयाच्या आकृत्या**

जरूर तर ती एकाच सांकेतिक चिन्हाने दाखविता येईल. याच्या उलट, उजवीकडील सरणी तीन घटक-सरण्यांची बांधलेली आहे. म्हणजे येथे रचनेत सारखेपणा नाही. पण आश्चर्याची गोष्ट, उजवीकडील सरणीचेच कार्य डावीकडील साधी सरणी सही सही पार पाडते. नेहमीच्या रीतीने हे सहज सिद्ध करता येते. पहा—

	डावी बाजू	उजवी बाजू
जर अ = 0, ब = 0, तर	$\overline{\text{अ}+\text{ब}} = \overline{0+0} = \overline{0} = १$	$\overline{\text{अ}}\cdot\overline{\text{ब}} = \overline{0}\cdot\overline{0} = १\cdot १ = १$
जर अ = १, ब = 0, तर	$\overline{\text{अ}+\text{ब}} = \overline{१+0} = \overline{१} = 0$	$\overline{\text{अ}}\cdot\overline{\text{ब}} = \overline{१}\cdot\overline{0} = 0\cdot १ = 0$
जर अ = 0, ब = १, तर	$\overline{\text{अ}+\text{ब}} = \overline{0+१} = \overline{१} = 0$	$\overline{\text{अ}}\cdot\overline{\text{ब}} = \overline{0}\cdot\overline{१} = १\cdot 0 = 0$
शेवटी जर अ = १, ब = १, तर	$\overline{\text{अ}+\text{ब}} = \overline{१+१} = \overline{१} = 0$	$\overline{\text{अ}}\cdot\overline{\text{ब}} = \overline{१}\cdot\overline{१} = 0\cdot 0 = 0$

चारीच्या चारी पर्यायांत डावीकडच्या सरणीचे विधान व उजवीकडच्या सरणीचे विधान यांचे सममूल्यत्व सिद्ध झाले. हीच डी मॉर्गन्‌च्या पहिल्या प्रमेयाची— पहिल्या नित्यसमेची– सिद्धी. नीट लक्षात राहावी म्हणून ही नित्यसमा खाली मांडली आहे—

$$\overline{\text{अ}+\text{ब}} = \overline{\text{अ}}\cdot\overline{\text{ब}}$$

याच रीतीने, आकृती ९·७ मधील डी मॉर्गन्‌च्या दुसऱ्या प्रमेयाच्या सरण्यांची विधानेही सममूल्य असल्याचे सिद्ध करता येते. (वाचकांनी हे करावे; शिवाय गेल्या प्रकरणाच्या शेवटी ही सिद्धी दिलेली आहे.) डी मॉर्गन्‌ची दुसरी नित्यसमा मग खालीलप्रमाणे मांडता येते :

$$\overline{\text{अ}\cdot\text{ब}} = \overline{\text{अ}}+\overline{\text{ब}}$$

या आश्चर्यकारक नित्यसमांमुळे संगणकातील सरण्यांच्या रचनेत मोठीच सुलभता प्राप्त होते व घटकसरण्यांची काटकसर साधते.

वरील दोन बीजगणिती समीकरणांकडे नीट लक्ष दिल्यास असे आढळते की, त्या प्रत्येकीत सामुदायिक नकरण दर्शविणाऱ्या रेषेचे द्विभाजन व त्याबरोबरच गुणिले आणि अधिक चिन्ह यांची अदलाबदल या गोष्टी घडल्या आहेत ! किंबहुना हा या

बाबतीतला नियमच आहे. त्याच्या आधारावर, बूलच्या गणितातली सामुदायिक ऊर्ध्वरेषे-खालची पदे सोडविण्याकरता एक कल्पती सुचविलेली आहे; ती अशी– बीजगणितातील ज्या अक्षरांवर अशी सामुदायिक नकरण दर्शविणारी ऊर्ध्वरेषा असेल, त्या शेजार-शेजारच्या अक्षरांच्या बरोबर मधून जणू सुरीने कापून त्या पदाचे वरील रेषेसह विभाजन करायचे, व असे करताना प्रत्येक दोन शेजाऱ्यांमधील मूळ चिन्ह बदलून (म्हणजे मूळचे अधिक चिन्ह असल्यास त्याजागी गुणिले चिन्ह, व गुणिले चिन्ह असल्यास अधिक चिन्ह) त्या विभक्त खंडांच्यामध्ये लिहावचे. पद कितीही मोठे असले व त्याची सुटी अक्षरे कितीही झाली तरी चालतील. मूळच्या संयुक्त पदाचे मूल्य व या यांत्रिकी क्रियेने पाडलेल्या अवयवांचे एकत्रित मूल्य यात फरक पडत नाही! एखाद्या अक्षरावर फक्त स्वतःची एक व सामुदायिक एक अशा दोन ऊर्ध्वरेषा असल्या तर विभाजनानंतर त्याच्या डोक्यावर दोन रेषा उरतात. व दोन नकारदर्शक रेषांचा परिणामी अर्थ होकार-दर्शक असल्याने त्यांचा लोप होतो.

आता या माहितीच्या आधारावर आकृती ९·५ मधील सरणीकडे पुनः वळू. तिचे विधान सोडवून खालीलप्रमाणे मांडता येईल :

$$\text{क्ष} = \overline{\overline{\text{अ}}\,\text{ब}} = \overline{\overline{\text{अ}}} + \overline{\text{ब}} = \text{अ} + \overline{\text{ब}}$$

वाचकांनी हे उत्तर तपासून पाहावे.

बीजसरण्यांच्या रचना, कार्ये व त्याविषयीचे बीजगणित यांची पुरेशी माहिती आपणांस झाली. पुढील प्रकरणात सांगितलेल्या प्रत्यक्ष आकडेमोड करणाऱ्या– बेरीज, वजाबाकी करणाऱ्या– सरण्या आता सुलभतेने समजतील.

प्रकरण : १०

प्रत्यक्ष आकडेमोड करणाऱ्या वीजसरण्या

बेरीज करणाऱ्या संकलक सरण्या (Half-adder, Full-adder).

वजाबाकी करणाऱ्या व्यवकलक सरण्या (Half-subtracter, Full-subtracter).

त्रियुत सूत्रानुसार बेरीज करणारी सरणी (Excess-3 Adder).

बूलच्या गणिताशी संबंध ठेवणाऱ्या नि वाढत्या गुंतागुंतीच्या वीजसरण्या अभ्या-सल्यानंतर, आता या प्रकरणांत, प्रत्यक्ष आकडेमोड करणाऱ्या सरण्या समजून घ्यायच्या आहेत. संगणकाच्या कार्याविषयीच्या चर्चेत ' आकडेमोड ' या शब्दाला पुढीलप्रमाणे मर्यादित अर्थ आहे :

(१) सगळी आकडेमोड किंवा अंकगणित हे फक्त द्विमान अंकांचे (० व १ यांचे) असते.

(२) गणिती प्रक्रिया अनेक असल्या तरी त्या बेरीज, वजाबाकी, गुणाकार व भागाकार या प्राथमिक क्रियांपर्यंत सोडविता येतात, व गुणाकार ही बेरजेची पुनः पुनः कृती आणि भागाकार ही वजाबाकीची पुनः पुनः कृती असल्याने बेरीज व वजाबाकी या दोनच आवश्यक कृती उरतात. त्यातही, वजाबाकीचे गणित ' पूरक–अंक ' रीतीने बेरजेच्याच कृतीने सोडविता येत असल्याने ' बेरीज करता येणे ' एवढीच संगणकाची कामगिरी उरते.

(३) अनेक संख्यांची बेरीज करू लागल्यास, 'हातच्यांची' (carry digits ची) संख्या वाढेल; व अशा साध्या हातच्यांच्या बेरजेतून ' मोठे हातचे ', त्यांच्या बेरजेतून ' अधिक मोठे हातचे ' निघत राहतील. सगळेच काम उगाच अवघड होईल.

हे टाळणे सहज शक्य आहे—एका वेळेला दोन संख्यांची बेरीज करायची, त्या बेरजेत तिसरी संख्या मिळवायची, त्यातून येणाऱ्या बेरजेत चौथी संख्या मिळवायची,.... असे जरूर तितक्या वेळा करायचे, हे तंत्र अवलंबिले जाते. सबंध बेरीज अशी टप्प्या-टप्प्याने करण्यात वेळ किती मोडेल याचा विचार करण्याचे कारण नाही; कारण सर्व गोष्टी विजेच्या त्वरेने घडावयाच्या असतात.

या पार्श्वभूमीवर, संगणकाकडे आकडेमोडीचे म्हणून काम उरते ते फक्त बेरीज करण्याचे, असे ठरले. आता खालील आकृतीवरून त्या कामाचा तपशील पाहू. ज्या दोन संख्यांची बेरीज करायची आहे त्यांपैकी वरच्या संख्येच्या शेवटी द्वि * व एकं या स्थानी अनुक्रमे $अ_2$ व $अ_1$ हे अंक आहेत तर खालच्या संख्येत त्या स्थानी अनुक्रमे $ब_2$ व $ब_1$ हे अंक आहेत :

$$\begin{array}{r} \ldots \times\times\times\times\times\times अ_2\ अ_1 \\ + \ldots \times\times\times\times\times\times\times ब_2\ ब_1 \\ \hline \times\ \ \times \\ ह_1 \end{array}$$

आता **कामाचा पहिला भाग** म्हणजे, बीजसरण्यांच्या साह्याने एकं स्थानच्या $अ_1$ व $ब_1$ या अंकांची बेरीज करणे व हातचा ($ह_1$) येईल तो काढणे. (हा ' हातचा ' कदाचित 0 ही असेल; येवढेच नव्हे, रेषेखाली मांडायची, ती बेरीजही 0 असू शकेल). मुख्य गोष्ट ध्यानी घ्यावयाची ती म्हणजे येथे कृतीकरता एकंदर दोनच अंक विचारात घ्यावयाचे आहेत; अर्थात ही कृती करणाऱ्या सरणीला दोन निविष्टे (inputs) असणार, व तिच्यातून दोन उद्‌गते (outputs) निघणार, एक बेरजेचा आलेला अंक दर्शविणारे व दुसरे ' हातचा ' दर्शविणारे.

कामाचा दुसरा भाग म्हणजे, द्वि स्थानचे अंक $अ_2$, $ब_2$ आणि आधीचा आलेला हातचा $ह_1$ यांची म्हणजे एकंदर तीन अंकांची बेरीज करून त्या स्थानाखाली मांडावयाचा बेरजेचा अंक काढणे व चतुःस्थानच्या अंकांच्या बेरजेत मिळवायचा तो हातचा ($ह_2$) काढणे. पुढे मग याच कृतीची पुनरावृत्ती चतुः, अष्ट,... या स्थानी असलेल्या अंकांवर क्रमाने करून संबंध बेरजेचे गणित सोडविता येते. हे काम करणाऱ्या सरणीला तीन निविष्टे (inputs) व दोन उद्‌गते (outputs) असणार हे उघड आहे. या कामाचा व्याप पहिल्या भागातल्याच्या पेक्षा अर्थातच अधिक आहे. प्रथम पहिल्या भागातील कामाचा तपशील पाहू, पुढे दिलेल्या स्थितिपटावरून या विषयीच्या बऱ्याच गोष्टी ध्यानी येतात.

उपरोक्त पहिल्या भागाचे काम पार पाडणाऱ्या सरणीकडून अपेक्षित गोष्टी स्थितिपटात आढळतात. पहिली अपेक्षा म्हणजे स्थितिपटाच्या पहिल्या दोन स्तंभांतील अंकांच्या अनुसार असणारी वीज वर्चसें निविष्ट केली असता, त्या त्या वेळी, तिसऱ्या स्तंभातील अंकांनी दर्शविलेली बेरजेची निदर्शक उद्‌गते मिळावीत; व दुसरी अपेक्षा म्हणजे, त्याच वेळी चवथ्या स्तंभातील अंकांनी दर्शविलेली ' हातच्या ' अंकाची निदर्शक

* दशमान पद्धतीत संख्येतील अंकांच्या स्थानांना उजवीकडून क्रमाने एकं, दहं, शतं, सहस्र....अशी नावे आपण देतो. त्याच चालीवर द्विमान पद्धतीत एक, द्वि, चतुर्, अष्टन् अशी नावे देता येतील.

अ_1	ब_1	बेरीज	हातचा ह_1
०	०	०	०
१	०	१	०
०	१	१	०
१	१	०	१

अर्ध-संकलक सरणीच्या कामाचा स्थितिपट

अशी आणखी चार उद्गते मिळावीत. या दुसऱ्या अपेक्षेची पूर्ती सोपी आहे. AND सरणीच्या उपयोगाने ते काम होईल. पहा—स्थितिपटातील चारी पर्यायांत अ_1 AND ब_1 (म्हणजेच $\text{अ}_1 \times \text{ब}_1$) = हातचा ह_1 हे समीकरण जमते.

बेरजेचे अंक उद्गते म्हणून देणारी सरणी मात्र इतक्या सुलभतेने जमणारी नाही. बेरीज दर्शविणाऱ्या स्तंभातले वरचे तीन अंक OR सरणीच्या उपयोगाने मिळतात. पण चवथ्या ओळीत घोटाळा निघतो. आपणास तेथे उद्गत हवे ०, पण साध्या OR सरणीने मिळेल १ (कारण १+१ = १). तेव्हा या कामाकरिता OR सरणीचा काही विशेष प्रकार येथे योजावा लागेल. स्थितिपटातील अंकांनुसार काम करणाऱ्या या विशेष सरणीचे वैशिष्ट्य त्या अंकांवरूनच ध्यानात येते. ते म्हणजे, अ_1 आणि ब_1 यांनी दर्शविले जाणारे अंक जर अ-समान असतील, (जसे ते स्थितिपटाच्या मधल्या दोन ओळीत आहेत,) तरच उद्गत-दर्शक अंक १ असेल, पण जर ते समान असतील (जसे पहिल्या ओळीत दोन्ही ०, ० किंवा चवथ्या ओळीत दोन्ही १, १ आहेत,) तर त्यापासून मिळणारे उद्गत ० च असणार ! या महत्त्वाच्या वैशिष्ट्याची दखल घेऊनच या ' विशिष्ट OR ' सरणीची (Exclusive OR ची) रचना केलेली असते. आकृती १०·१ मध्ये दाखविलेल्या दोन नमुन्याच्या रचना पहाव्यात. (रचनेचे आणखीही प्रकार असू शकतात. येथे दोनच घेतले आहेत.)

आकृतीतील (१) मधील रचनेच्या दिलेल्या उद्गताचे समीकरण आता सहज सोडविता यावे. ते असे :

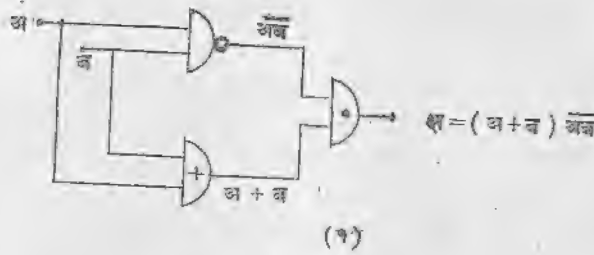
$$\text{क्ष} = (\text{अ} + \text{ब})\,\overline{\text{अब}}$$

$$= (\text{अ} + \text{ब})(\overline{\text{अ}} + \overline{\text{ब}})$$ येथे डी मॉर्गन्च्या दुसऱ्या सिद्धांतान्वये सामुदायिक ऊर्ध्वरेषेचे पद सोडविले.

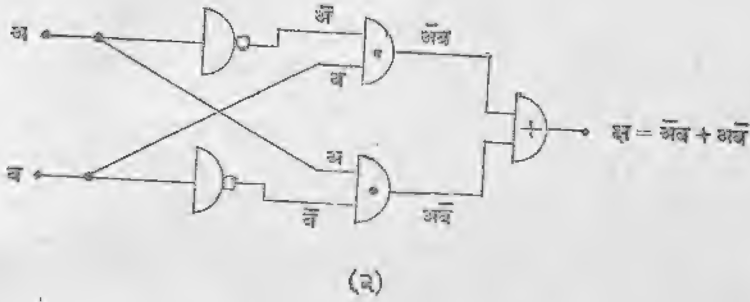
$$= \text{अ}\overline{\text{अ}} + \text{अ}\overline{\text{ब}} + \overline{\text{अ}}\text{ब} + \text{ब}\overline{\text{ब}} \quad = 0 + \text{अ}\overline{\text{ब}} + \overline{\text{अ}}\text{ब} + 0$$

$$= \text{अ}\overline{\text{ब}} + \overline{\text{अ}}\text{ब}$$

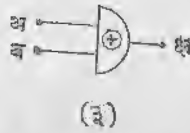
(नेमके हेच उत्तर नमुन्याच्या दुसऱ्या सरणीच्या आकृतीतून मिळत आहे.)



(१)



(२)



(३)

आकृती १०·१ समवर्जी OR सरणी (Exclusive OR)
(१), (२) नमुन्याच्या रचना. (३) सांकेतिक चिन्ह

वाचकांना आता निविष्टांना आलटून पालटून ०, १ ही मूल्ये देऊन समीकरणे सोडविण्याची सवय झाली आहे. येथे प्रस्तुत सरणीच्या उद्गताचे मिळणारे अंक हे नेमके स्थितिपटाच्या तिसऱ्या ' बेरीज ' स्तंभातील अंक मिळतील. या विशिष्ट OR सरणीचे लक्षण किंवा लक्षण-सूत्र असे सांगता येते : ' दोन्हींपैकी एक पण दोन्ही नाही ' (any one out of two, but not both). याचा अर्थ असा की, या सरणीची दोन्ही निविष्टे समधर्मी किंवा सममूल्य असतील तर तिचे उद्गत अस्तिपक्षी असणार नाही; ती विषम असतील तरच उद्गत (अस्तिपक्षी) निघेल ! किंवा दुसऱ्या शब्दांत, ज्यांची बेरीज करावयाची ते दोन द्विमान अंक " १ ", " ० " असे भिन्न, विषम असतील तरच त्यांचा योग म्हणजे बेरीज होईल–बेरीज १ येईल ! एरवी ती ० येईल ! तेव्हा अशी कृती करणाऱ्या या विशेष प्रकारच्या OR सरणीला ' विषमयोगी OR ', किंवा ' सम-योग-वर्जी OR ' किंवा आणखी संक्षेप करून ' समवर्जी OR ' असे अन्वर्थक नाव देता येते. तिचे इंग्रजी नाव ' Exclusive OR ' हे सुद्धा इतके अन्वर्थक

नाही. आकृतीत शेवटच्या ओळीत दिलेले या सरणीचे सांकेतिक चिन्हही पहावे. [मागे प्रकरण ८ मध्ये कॉम्प्यूटरचा अभ्यास करणाऱ्या १६ वाचकांचे उदाहरण दिले होते व त्यातील वाचकांच्या परिस्थितींची बीजसरण्यांच्या कृतींशी तुलना केली होती. विवेचनाच्या शेवटी, वाचक क्र. ६ च्या परिस्थितीचा उल्लेख केला होता. वाचक अ व ब यांच्याशी तुलना करता, वाचक क्र. ६ ची परिस्थिती प्रस्तुत ' समवर्जी OR ' सरणीच्या कार्याशी नेमकी समतुल्य असल्याचे आढळेल. तसेच, मुलांच्या वर्गाच्या वेगवेगळ्या स्थिती दर्शविणाऱ्या आकृती ८·२ मधील शेवटच्या चिन्हाने हाच तार्किक आशय व्यक्त झालेला आढळेल.]

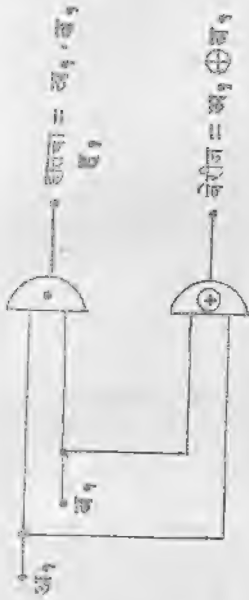
आता या ' समवर्जी OR ' सरणीला मघा उल्लेखिलेली ' हातचा ' काढणारी AND सरणी जोडली म्हणजे बेरीज कृतीचे उपरोक्त पहिल्या भागाचे काम झाले. ही जोडसरणी आकृती १०·२ मध्ये दाखविली आहे.

बेरीज किंवा बेरजेची कृती यांना शास्त्रीय परिभाषेत संकलन अशी संज्ञा आहे. (सम्+कल् = बेरीज करणे, to add). उपरोक्त सरणी हे काम करते, पण पूर्णांशाने नव्हे. विवेचनाच्या सुरुवातीस आपण उल्लेखलेले केवळ पहिल्या भागाचे, म्हणजे बेरजेच्या एकंदर कृतीपैकी अर्धे काम करते. तिला यथार्थतेने **अर्ध-संकलक सरणी** म्हणता येते. जरूर तेव्हा संक्षेपाने **अ. सं.** सरणी असे म्हणू. इंग्रजीत तिला Half-adder म्हणतात.

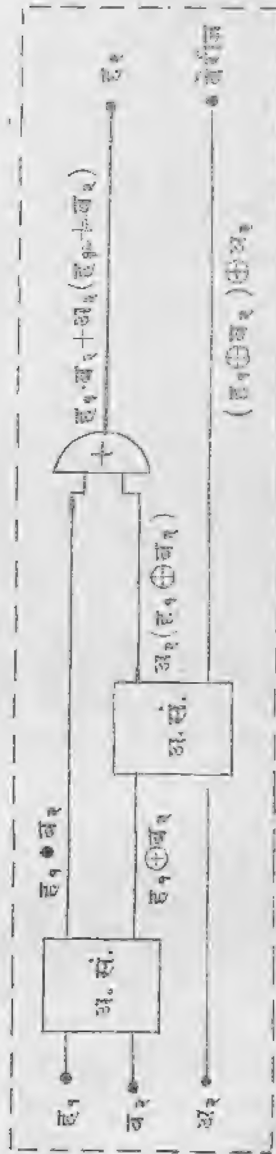
यापुढचे काम म्हणजे, $ह_१+ब_२+अ_२$ ही बेरीज करून द्वि स्थानाखाली मांडावयाचा अंक व हातचा अंक ($ह_२$) काढणे हे आहे. हे काम एकीपुढे एक जोडलेल्या दोन अर्ध-संकलक सरण्यांच्या साह्याने (याचा अर्थ, कोणत्याही एका वेळी केवळ दोनच अंकांवरती कृती करून) शक्य होईल हे सहज पटणारे आहे. मघासारखाच स्थितिपट मांडून, या संयुक्त सरणीकडून बरोबर काय अपेक्षित आहे ते आधी पाहू :—

पूर्ण-संकलक सरणीच्या कामाचा स्थितिपट

एक स्थानातून आलेला हातचा	द्वि स्थानचा एका संख्येचा अंक	द्वि स्थानचा दुसऱ्या संख्येचा अंक	द्वि स्थानी येणारी बेरीज	द्वि स्थानच्या बेरजेतून निघणारा हातचा
$ह_१$	$ब_२$	$अ_२$		$ह_२$
0	0	0	0	0
0	0	१	१	0
0	१	0	१	0
0	१	१	0	१
१	0	0	१	0
१	0	१	0	१
१	१	0	0	१
१	१	१	१	१



आकृती १०.२ अर्ध-संकलक सरणी (Half-adder)



आकृती १०.३ पूर्ण-संकलक सरणी (Full-adder)

आता स्थितिपटात दर्शविलेली सर्व उद्दिष्टे पार पाडणाऱ्या सरणीचे अर्थात् **पूर्ण-संकलक सरणीचे** चित्र आकृती १०·३ मध्ये पाहावे. चित्रात दिलेली पदे सरणीच्या मांडणीच्या नियमानुसार आहेत का नाहीत हे आधी तपासावे, व मग ती सोडवून, त्यांची उत्तरे स्थितिपटातल्या अंकांबरहुकूम येत असल्याचे पाहावे. तर्क-सरण्यांच्या कार्याचा व बूलच्या बीजगणिताचा तो एक मनोरंजक अभ्यास होईल !

या चित्रात अर्ध-संकलक सरणीचा सर्व तपशील दिलेला नाही. केवळ एका चौकटीने ती दर्शविली आहे. अधिकाधिक गुंतागुंतीच्या सरण्या मांडताना हे क्रमप्राप्तच आहे. (नाही तरी AND इ. सरण्यांची सांकेतिक चिन्हे वापरताना त्या सरण्यांतील ट्रॅन्झिस्टर इ. चा केव्हाच लोप झाल्याचे आपण पाहिले.) प्रस्तुत पूर्ण-संकलक (पू. सं.) सरणीही क्रमाने एका चौकटीने दर्शवावी लागणे आवश्यक ठरेल. आकृतीतील तुटक रेषेच्या चौकटीने तेच सूचित केले आहे.

या सरणीने उद्गत केलेला हातचा $ह_२$ व दिलेल्या संख्यांतील चतुर् स्थानचे अंक यांची व त्याच क्रमाने, संख्यांत असतील तितक्या अंक-जोड्यांची बेरीज, आणखी लागतील तितक्या पू. सं. सरण्या उपयोजून त्यांच्या साह्याने करता येईल हे उघड आहे.

बेरजेनंतर, आता संगणक वजाबाकी कशी करतो ते पाहू.

वजाबाकी करणाऱ्या सरण्या : पूरक अंकांचा उपयोग करून वजाबाकीचे कामही बेरजेच्या कृतीने पार पाडता येते, पण त्या कृतीत सर्वांत शेवटी हातचा आलेला १ काढून टाकून तो एकस्थानी मिळवण्याचा द्राविडी प्राणायाम करावा लागतो; पण वर वर्णिलेल्या संकलक सरण्यांच्या धर्तीवर प्रत्यक्ष वजाबाकी करणाऱ्या **व्यवकलक सरण्या** रचता येतात. व्यवकलन शब्दाची फोड अशी : वि+अव+कल वजा करणे, to subtract.

या सरण्यांच्या बाबतीतही ' एकं स्थानच्या अंकांची वजाबाकी करणारी ' एक ' अर्ध-व्यवकलक ' सरणी (Half-subtractor) असते, की जिला, वजाबाकीकरता जरी उसना १ घ्यावा लागला तरी त्याची परतफेड इ. कृती करावी लागत नाही; व पुढे, द्वि आणि डावीकडच्या स्थानांकरता, परतफेडीचा आलेला अंक व त्या त्या स्थानचे दोन अंक अशा एकंदर तीन अंकांवर कृती करणारी ' पूर्ण-व्यवकलक ' (Full-subtractor) सरणी असते.

दोन द्विमान अंकांची वजाबाकी करताना खालील चार पर्याय संभवतात. ते स्थितिपटात मांडले आहेत; $अ_१$ मधून $ब_१$ वजा करावयाचा आहे.

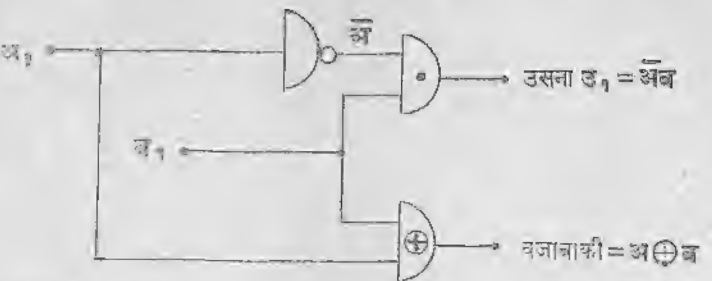
$अ_1$	$ब_1$	खाली लिहायचा वजाबाकीचा अंक	डावीकडून घ्यावा लागणारा 'उसना' $उ_1$
०	०	०	०
०	१	१	१
१	०	१	०
१	१	०	०

अर्ध-व्यवकलक सरणीच्या कामाचा स्थितिपट

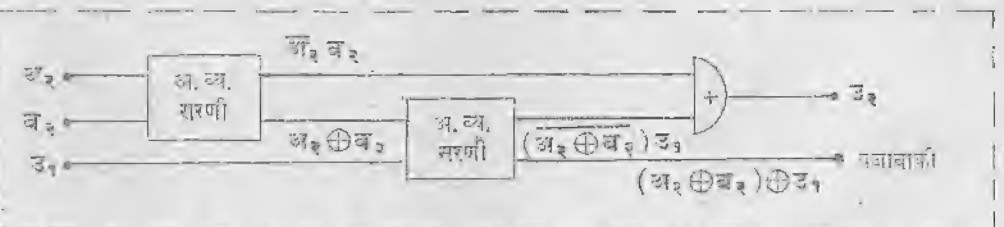
स्थितिपटाच्या तिसऱ्या स्तंभांत दिलेले, रेषेखाली लिहायचे ते 'वजाबाकीचे' अंक, अ, ब यांना (म्हणजे त्या स्तंभातील अंकांना) 'समवर्जी OR' सरणीत निविष्ट केल्याने मिळतील हे चटकन लक्षात येते. चवथ्या स्तंभातले अंक कसे मिळवायचे हा प्रश्न उरला. AND सरणी वापरून पहिल्या व तिसऱ्या ओळीतील अंकांविषयीची अपेक्षा पूर्ण होते; पण बाकीच्या दोन ओळींना ही कृती चालत नाही. थोडया चाणाक्षपणे या प्रश्नाकडे पाहिले की उत्तर सुचते. AND सरणीला निविष्टे तशीच्या तशी पुरविण्यापूर्वी $अ_1$ हे निविष्ट – म्हणजे वजाबाकीतील वरच्या अंकाचे प्रतिनिधित्व करणारे निविष्ट– उलटवले तर ? म्हणजे त्या स्तंभातील अंकांचे आधी प्रतिरूप करून घेतले, म्हणजेच " १ " च्या ऐवजी " ० " व " ० " च्या ऐवजी " १ " अशी परिस्थिती करून घेतली तर ? बीजगणिताच्या भाषेत, $अ_1$ चे $\overline{अ_1}$ करून घेतले तर ? तर प्रश्न समाधानकारकपणे सुटतो ! हे उलटीकरण $अ_1$ ते AND सरणी या मार्गात एक NAND सरणी बसवून सहज साध्य होते.

एवंच वजाबाकीचा अंक काढून देणारी 'समवर्जी OR' सरणी व प्रस्तुत सुचविलेली '$\overline{अ_1}$ AND $ब_1$' ही सरणी या जोडून आपणास हवी असलेली अर्ध-व्यवकलक सरणी मिळते. आकृती १०·४ मध्ये या सरणीचे चित्र दिले आहे.

पुढे अशा दोन अर्ध-व्यवकलक सरण्या व त्यांचा समन्वय करणारी एक OR सरणी यांची जोडणी करून एक **पूर्ण-व्यवकलक सरणी** सिद्ध करता येते की जी, उजवीकडच्या अंकजोडीच्या वजाबाकीच्या वेळेला उसना दिलेला (व आता परत आलेला) १, तसेच चालू वजाबाकीत जरूर तर उसना घ्यावा लागणारा १ यांना विचारात घेऊन कृती करते. पूर्ण–व्यवकलक सरणीची रचना आकृती १०·५ मध्ये दर्शविली आहे. द्वि (व त्याच्या डावीकडच्या) स्थानी होणाऱ्या वजाबाकीच्या कृतीचा, म्हणजेच पूर्ण-व्यवकलक सरणीच्या कृतीचा स्थितिपट पुढे दिला आहे, तो तपासावा; नंतर आकृतीतील निविष्टांना त्यातील मूल्ये देऊन तिची उद्गते नेमकी स्थितिपटात दर्शविल्याप्रमाणे येतात का नाही ते ताडून पाहावे. तो एक मनोरंजक अभ्यास होईल.



आकृती १०·४ अर्ध-व्यवकलक सरणी (Half-subtractor)



आकृती १०·५ पूर्ण-व्यवकलक सरणी (Full-subtractor)

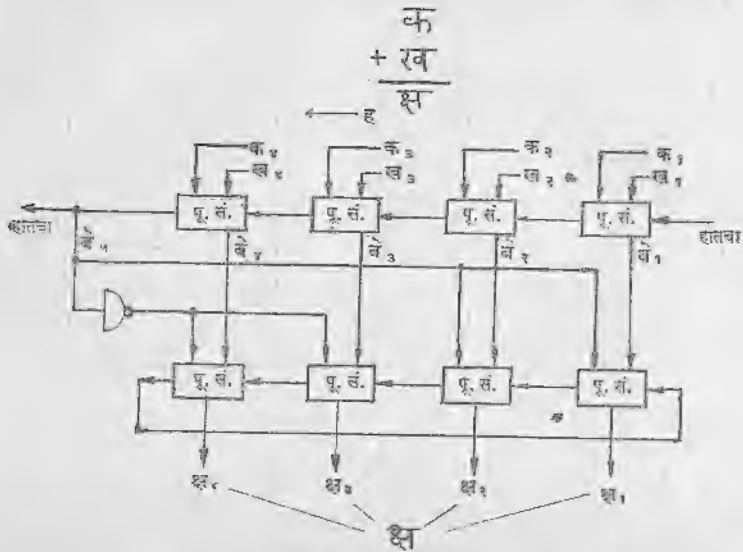
द्वि स्थानचे अंक		एकंस्थानाकडून परत आलेला उसना उ$_1$	खाली लिहायचा वजाबाकीचा अंक	चतुः स्थानास परत करायचा उसना उ$_2$
अ$_2$	ब$_2$			
०	०	०	०	०
०	०	१	१	१
०	१	०	१	१
१	०	०	१	०
०	१	१	०	१
१	०	१	०	०
१	१	०	०	०
१	१	१	१	१

पूर्ण-व्यवकलक सरणीच्या कामाचा स्थितिपट

एक अर्ध-व्यवकलक सरणी व तिला (डावीकडे) जोडलेल्या जरूर तितक्या पूर्ण-व्यवकलक सरण्या यांच्या मालिकेच्या साह्याने प्रत्येकी कितीही द्विमान अंकांच्या असलेल्या दोन संख्यांची वजाबाकी करता येते हे आता न सांगताही लक्षात येईल.

त्रियुत सूत्रान्वये होणारी बेरीज : द्विमान संख्यांची (Binary numbers ची) बेरीज (आणि वजाबाकीही) कशी करता येते ते आपण शिकलो. पण शुद्ध द्विमान संख्यांचे अंकगणित करणारे संगणक आता क्वचितच आढळतील. संगणकांच्या पहिल्या पिढीत ते तयार झाले असे म्हणता येते. आता त्याहून सुधारित असे द्विमानांकित संख्यांचे (Binary Coded Decimals चे) अंकगणित करणारे संगणकच प्रामुख्याने तयार होतात. BCD अंकगणितामध्ये संख्यांचा सांगाडा किंवा बाह्य रचना दशमानच ठेवून तिच्यातील फक्त अंकांचे द्विमान रूपात परिवर्तन केलेले असते हे मागेच स्पष्ट केले आहे. या संकरित पद्धतीने गणिते, हिशेब सोडविण्याचे काम करणाऱ्या संगणकांना ' दशमान संगणक ' (Decimal Computers) असे थोडे अतिव्याप्त व भ्रमकारक नाव दिलेले प्रचारात आहे. द्विमानांकित अंकगणित तुलनेने सोपे व सोयीचे असून, त्याचा उपयोग करताना **त्रियुत सूत्र** उपयुक्त ठरते, हे प्रकरण ५ मध्ये खुलाशाने सांगितले आहे. तेव्हा या सूत्रान्वये बेरीज करणाऱ्या सरणीची माहिती करून घेणे आवश्यक ठरते. आकृती १०.६ मध्ये या सरणीचा आराखडा दिला आहे. आतापर्यंत अभ्यासलेल्या वीजसरण्यांच्यापेक्षा यात थोडी जास्त गुंतागुंत दिसते, पण क्रमाने वाढत्या व्यापाच्या व अधिकाधिक गुंतागुंतीच्या सरण्या अभ्यासण्याची आता आपणास सवय झाली आहे; तेव्हा या दर्शनी गुंतागुंतीला बुजण्याचे कारण नाही. थोडक्याच वेळात तिचा उलगडा होणार आहे.

गोष्ट साधी आहे. क आणि ख या दोन दशमान अंकांची बेरीज करावयाची आहे. (बेरीज क्ष होणार आहे आणि हातचा ह् निघणार आहे, हे आधीच ध्यानी घेण्यास



आकृती १०.६ **त्रियुत सूत्रानुसार बेरीज करणारी सरणी**

हरकत नाही.) क आणि ख च्या, त्रियुत सूत्रान्वये निघणाऱ्या द्विमानांकांच्या जोड्या $क_{१}$ $ख_{१}$, $क_{२}$ $ख_{२}$, $क_{३}$ $ख_{३}$, आणि $क_{४}$ $ख_{४}$ या, आकृतीतील वरच्या ओळीतील चार पूर्ण-संकलक सरण्यांना पुरविल्या आहेत. आता पूर्ण-संकलक सरणीच्या अंतर्रचनेचा वगैरे विचारही येथे करावयाचा नाही. एवढेच ध्यानी घ्यायचे की त्या चार सरण्यांतून चार कच्च्या बेरजा ($बे_{१}$ ते $बे_{४}$), व चार हातचे निघतात, ज्यापैकी पहिले तीन हातचे एकीचा दुसरीस असे ठीक पोचविलेले आहेत, व चौथा हातचा हा कच्ची पाचवी बेरीज $बे_{५}$ म्हणून दर्शविला आहे.

आता या कच्च्या बेरजांत नियमाप्रमाणे ३ मिळवून किंवा ३ वजा करून अंतिम बेरजा येतात, हे प्रकरण ५ मध्ये वाचलेले आठवत असेल. (ती सर्व माहिती पुनः वाचावी.) यासंबंधी नियम असा आहे—(अ), सर्वांत डावीकडच्या (अष्टस्थानच्या) बेरजेतून हातचा निघत असेल, म्हणजेच $बे_{५}$ चे मूल्य १ असेल, तर ३ (००११) मिळवायचे व (ब), हातचा निघत नसेल तर ३ (००११) वजा करायचे असतात.

कच्च्या बेरजात या दुरुस्त्या करता याव्यात म्हणून, आकृतीत खालच्या बाजूस दर्शविलेली चार पूर्ण-संकलक सरण्यांची आणखी एक मालिका बसविली आहे. वरील वाक्यातील (अ) ने दर्शविलेली स्थिती असेल, म्हणजेच $बे_{५} = १$ असेल तर ते दर्शविणारा वीजस्पंद खालच्या ओळीतील द्वि आणि एक स्थानच्या पू. सं. सरण्यांना पोचविला जातो व तेथे १, १ मिळवल्याचे काम होते. अष्ट, चतुः स्थानच्या सरण्यांना

काहीच न पोचविल्याने तेथे ०, ० मिळविले असे होते. थोडक्यात, $बे_५ = १$ अशी स्थिती असल्यास ००११ ही संख्या कच्च्या बेरजांत मिळविली जाते.

पण खरी गम्मत यापुढेच आहे. उदाहरणातील (ब) ने दर्शविलेली परिस्थिती असेल, म्हणजेच $बे_५ = ०$ असेल, तर चित्रात दर्शविलेल्या NAND सरणीने त्या ० चे उलटीकरण होऊन निघणारा १ हा अष्ट व चतुः स्थानच्या पूर्ण-संकलक सरण्यांना प्रत्येकी पोचविला जातो. द्वि, एकं स्थानच्या सरण्यांना यावेळी काहीच पोचविले जात नाही. थोडक्यात, यावेळी ११०० ही संख्या कच्च्या बेरजांत मिळविली जाते. पण ११०० ही संख्या ००११ ची म्हणजेच ३ ची पूरक असल्याचे सहज लक्षात येईल. ती मिळविल्याने परिणाम होतो, तो ३ वजा केल्याचा ! पुढे ही पूरक संख्या मिळवल्याने ' डाव्या टोकाला जादा येणारा १ उजव्या टोकास आणून मिळवण्याची ', end-around carry ची योजना येथे आहेच.

एवंच, कोणत्याही दोन दशमान अंकांची बेरीज या सरणीच्या साह्याने व्यवस्थित होऊ शकते, मग यावेळी आधीचा हातचा असो किंवा नसो. तसेच बेरजेतून हातचा निघत असो किंवा नसो. वाचकांनी क, ख यांना वेगवेगळी मूल्ये देऊन व त्यांचे त्रियुत द्विमानांक या आकृतीतील सरणीत योजून या विधानाचा पडताळा अवश्य पाहावा.

संबंधित दशमान संख्यांत जितके अंक असतील तितक्या त्रियुत-बेरीज सरण्यांची मालिका एकंदर बेरजेकरता योजावी लागेल हे उघड आहे.

❀

प्रकरण : ११

कंपक सरण्या (Multivibrators) भाग १

द्वि-स्थिति कंपक सरणी ' फ्लिप्-फ्लॉप् ' (Bistable Multivibrator ' Flip-flop ').

फ्लिप्-फ्लॉप् मालिकेवर-रजिस्टरवर-द्विमान संख्येची मांडणी.

स्पंदांची संख्या मोजणारी व ती संख्या द्विमान पद्धतीत मांडणारी सरणी अर्थात् द्विमान गणक सरणी (Binary Counter).

मोजलेल्या स्पंदांची संख्या द्विमानांकित (Binary Coded Decimals) पद्धतीत मांडणारी सरणी – दशक गणक सरणी (Decade Counter).

संबंधित दशमान संख्यांवर, त्यांचे इष्ट तेवढे परिवर्तन घडविल्यानंतर, गणिती क्रिया करणे कसे शक्य होते हे आपण शिकलो, याचा अर्थ विजेच्या साह्याने इष्ट ती कसलीही आकडेमोड कशी करता येते ते माहीत करून घेतले. यामुळे, कॉम्प्युटरच्या कार्यपद्धतीची माहिती करून घेण्याचे सर्व काम झाले, असे अनवधानाने कुणाला वाटण्याचा संभव आहे. पण वस्तुस्थिती अशी आहे की, येथवरच्या विवेचनातून प्रस्तुत विषयातील काही महत्त्वाची माहिती मिळाली आहे एवढेच. आणखी बरीच माहिती मिळवायची आहे. थोडया बारकाईने विचार केल्यास, पुढील काही गोष्टी अद्याप समजायच्या राहिल्या आहेत हे ध्यानी येईल :

(१) पहिला प्रश्न असा की, ज्यांची बेरीज-वजाबाकी वीजसरणींच्या साह्याने होऊ शकते हे आपण पाहिले, ते द्विमान अंक मुळात मांडलेच कसे जातात ? म्हणजे असे म्हणता येईल की, आकडेमोडीची रीत समजली, पण आकडेमोड अजून समजायची आहे; संगणकातील ज्या पाटीवर गणिती कृती होतात त्या पाटीवर अंक, संख्या मांडल्या किंवा नोंदल्या कशा जातात म्हणजेच Register कशा होतात, हे अजून कळलेले नाही. आवश्यक ते आकडेमोडीचे काम झाल्यावर पाटी पुसली कशी जात असेल, हे समजून घेण्याचा भाग त्यात आलाच.

(२) सोडवायच्या गणिताची किंवा हिशेबांची ‘सुरुवातीला दिलेली संपूर्ण माहिती’ (data) संगणकाच्या सुपुर्द केल्यानंतर, ती सर्व कुठे कशी लिहून, साठवून ठेवली जाते, याविषयी, म्हणजे संगणकाच्या स्मृतिभांडाराविषयी, अजून कळावयाचे आहेच; पण ती माहिती स्वतंत्र प्रकरणात सांगितली जाणार आहे.

(३) आणखी एक महत्त्वाची गोष्ट–**मोजण्याचे म्हणजे गणनेचे** (counting चे) **काम संगणक कसे करतो ?** क्रिकेटच्या खेळात विशिष्ट गोलंदाजाची षट्कें किंवा षट्कात टाकलेले चेंडू, तसेच विशिष्ट फलंदाजाचे चौकार इ. घटना मोजल्या जात असतात, त्याच तऱ्हेची मोजदाद ठेवण्याची काही योजना संगणकापाशी असणे आवश्यक आहे. उदाहरणाने या विधानाचा खुलासा होईल :–एखाद्या मोठ्या कंपनीतल्या कर्मचाऱ्यांचे पगार, भत्ते इ. चे हिशेब संगणक करतो असे उदाहरण मागे घेतले आहे; एकंदर कर्मचारी काही हजार आहेत, व खात्यानुसार, हुद्यानुसार त्यांचे काही वर्ग आहेत, असे समजता येते. आता, त्यांच्या एकेकाच्या हिशेबाचे काम चालू असता, कोणत्याही क्षणापर्यंत कोणत्या खात्याच्या किंवा कोणत्या हुद्याच्या किती कर्मचाऱ्यांचे हिशेब झाले, तसेच एकंदर किती कर्मचाऱ्यांचे हिशेब झाले, याचे आकडे संगणकात सतत तयार असले पाहिजेत हे उघड आहे. हे काम गणनेनेच शक्य आहे; ती कशी होत असेल ?

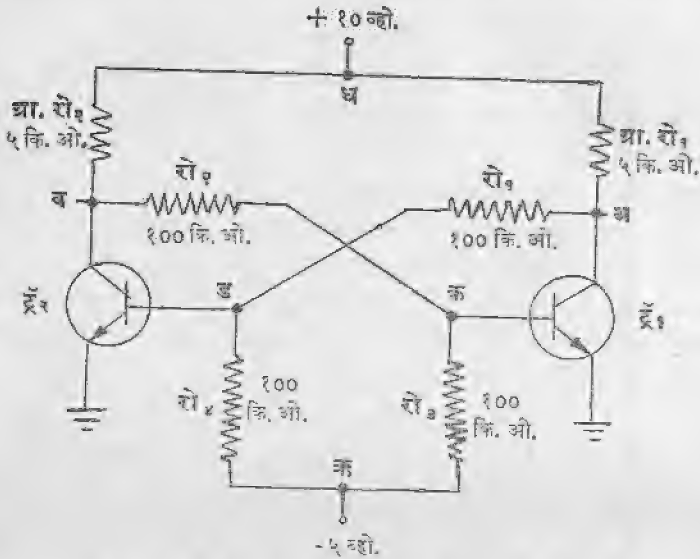
(४) बेरीज, वजाबाकी या कृती दोन संख्यांतील एकाखाली एक लिहिलेल्या अंकांवर केल्या जातात; पण विशेषतः गुणाकारांत, क्रमाने पुढचे पुढचे **आंशिक गुणाकार डावीकडे सरकवून कसे मांडले जातात**, थोडक्यात, **संख्यांची सरक कशी घडते**, हे समजणेही अगत्याचे आहे.

(५) साध्या दोन दशांकांच्या बेरजेकरता सरण्यांचा केवढा मोठा व्याप लागतो व त्यांमधून वीज वाहताना घडणाऱ्या बारीकसारीक घटनांची संख्या केवढी मोठी असते हे आपल्या ध्यानी आले. पण या सर्व **घटनांचा क्रम कसा संभाळला जातो ?** ही गोष्ट अचंबा वाटावा अशी आहे. तिचा खुलासा व्हायचा आहे.

वरील (२) मधील स्मृतिविभागाचे काम सोडून बाकीची कामे संगणकातील एका विशेष प्रकारच्या वीजसरण्यांच्या द्वारा पार पडतात. त्यांचा अभ्यास या व पुढच्या प्रकरणात करावयाचा आहे.

या सरण्यांना **कंपक सरण्या** (Multivibrators) अशी संज्ञा आहे. ‘कंपक’ या शब्दावरून ‘उलटपलट दिशेने आणि पुनः पुनः होणाऱ्या’ कृतीचा बोध होतो. या सरण्यांमध्येही, त्यामधून वाहणाऱ्या वीजप्रवाहाच्या बाबतीत असे घडते. कंपक सरण्यांचे तीन प्रकार आहेत व त्यांच्या साह्याने वर उल्लेखलेली उद्दिष्टे साध्य होतात. प्रथम त्यांतील तुलनेने सुलभ असलेल्या प्रकाराची माहिती मिळवू :

Flip-flop सरणी अर्थात् द्विस्थिति कंपक सरणी (Bistable Multivibrator). आकृती ११·१ पाहावी. सकृत्दर्शनीच आकृतीचा डावा अर्धा भाग व



आकृति ११·१ द्विस्थिति कंपक अथवा फ्लिप्-फ्लॉप् सरणी
(Bistable Multivibrator)

उजवा अर्धा भाग हे एकसारखे दिसतात. यावरून या सरणीच्या कार्यपद्धतीत काही कंपनशीलता असावी, वीजप्रवाहाच्या उलटसुलट वाहतुकीची प्रवृत्ती असावी, असा अंदाज होतो. सरणीतील घटक–दोन NPN ट्रॅन्झिस्टर व सहा रोधक–हे परिचित घटक आहेत. सहापकी दोन रोधक ग्राहक प्रवाहाचे नियंत्रण करणारे असून ते प्रत्येकी ५ किलो ओम्स रोधकतेचे आहेत. बाकीचे चार रोधक तुलनेने बऱ्याच जास्त रोधकतेचे–प्रत्येकी १०० कि. ओम्सचे–असून ते सरणीच्या मुख्य शाखांत बसविलेले आहेत. सरणीला ग्राहकांच्या बाजूने ध या बिंदूपाशी + १० व्होल्टचा व बेसच्या बजूने ऋ बिंदूपाशी – ५ व्होल्टचा वीजपुरवठा केलेला आहे.

हे आकडे केवळ उदाहरणादाखल घेतले आहेत. यापेक्षा वेगळे आकडे असू शकतात. सरणीच्या प्रत्यक्ष कार्यपद्धतीची चर्चा सुरू करण्यापूर्वी तिच्या कार्याचे स्वरूप उचित तऱ्हेने दर्शविणारे नेहमीच्या व्यवहारातले एक उदाहरण सांगतो :—

मुलांच्या खेळाची ' सीसॉ ' (Seesaw) फळी आपण पाहिली आहे. सारख्या वजनाची दोन मुले फळीच्या टोकांना बसलेली असली, तर त्यातील जो खाली असेल त्याने जमिनीला अल्प रेटा देताच फळी दुसऱ्या बाजूला कलंडते; नंतर दुसऱ्या मुलाच्या

अल्प रेट्याने ती पुनः पहिल्या बाजूस कलंडते. कोणती तरी एक बाजू वर व दुसरी खाली अशा अवस्थेत येऊन फळी स्थिरावते. शिवाय, तिरप्या फळीवर दोन्ही मुले स्वाभाविकपणेच किंचित खालच्या बाजूस कलंडून बसतात, की ज्यामुळे, त्यांच्या वजनांना होणाऱ्या परिणामांत किंचित असमानता निर्माण होते, व फळी असेल त्या स्थितीत राहण्यास मदत होते. थोडक्यात, (१) फळी बरोबर समतोल होऊन ती कोणत्याही बाजूला न टेकलेली राहील हे जवळजवळ अशक्य असते; (२) ती दोनपैकी कोणत्यातरी एका बाजूस टेकलेली अशा स्थिर अवस्थेत असणे हे नैसर्गिक असते व (३) त्या स्थितीतून दुसऱ्या स्थिर स्थितीत जाण्यास तिला अल्प चेतना पुरते.

प्रस्तुत सरणीत याच धालीवर कृती घडते. केव्हाही तिच्या दोन ट्रॅन्झिस्टर्सपैकी कोणता तरी एकच चालू म्हणजे वाहक स्थितीत (conducting) असतो! अर्थात दुसरा त्यावेळी बंद असतो. याकारणे तिला 'फ्लिप्-फ्लॉप्' (Flip-flop) असे अन्वर्थक नाव दिलेले आहे. तिच्या आकृतीच्या विश्लेषणावरूनही वरीलप्रमाणेच परिस्थिती शक्य असल्याचा निष्कर्ष निघतो. विश्लेषण असे :—

समजा उजवीकडचा ट्रॅन्झिस्टर (ट्रॅ. १) हा वाहक स्थितीत आहे. मग त्यामुळे,

(१) ग्राहकाच्या बाजूकडून केलेला १० व्होल्टचा वीजपुरवठा त्या ट्रॅन्झिस्टरमधून जमिनीत जाईल व अ येथील वीजवर्चस 0 होईल.

(२) अशा परिस्थितीत आता ऋ पासून निघून रो$_४$, रो$_१$ या रोधकांतून अ बिंदूपर्यंत जाणारा मार्ग पहावा; हे रोधक प्रत्येकी १०० किलो ओम्स या समान क्षमतेचे असल्याने, व ड हा बिंदू त्या दोहोंच्या मध्ये असल्याने, ड चे वर्चस् – २·५ व्होल्ट असणार; आणि हे पुरेसे ऋण वर्चस डावीकडच्या ट्रॅन्झिस्टर २ च्या बेसला मिळत असल्याने तो प्रवाह-प्रतिकूल (reverse baised) होतो; त्यातून वीज वहात नाही.

(३) यामुळे त्या ट्रॅन्झिस्टरच्या ग्राहकावरील ब या स्थानापाशी, त्या बाजूने पुरविलेले प्रायः सर्व १० व्होल्ट उपलब्ध असतात.

(४) आता ब ते ऋ, हा रो$_२$ व रो$_३$ मधून जाणारा मार्ग पहावा; हे रोधकही समान क्षमतेचे असल्याने त्यांच्या मध्ये असणाऱ्या क या बिंदूचे वर्चस्, त्यांच्या दुसऱ्या टोकांशी असणाऱ्या वर्चसांच्या मध्यम मूल्याचे, म्हणजे सुमारे +२·५ व्होल्ट असते. हे पुरेसे धनवर्चस ट्रॅ १ च्या बेसला मिळत राहिल्याने तो (आपण सुरुवातीस गृहीत धरलेल्या) वाहक स्थितीतच राहतो!

येणेप्रमाणे येथे एका ट्रॅन्झिस्टरचे उद्गत ते दुसऱ्याचे निविष्ट व दुसऱ्याचे उद्गत ते पहिल्याचे निविष्ट अशी व्यवस्था असते. यामुळे या सरणीत अंगभूतपणेच पुनरुत्थापनाची क्षमता असते. तसेच, सरणीच्या दोन्ही बाजू तंतोतंत सारख्या असल्याने वरील सर्व वर्णन दोन्ही बाजूंना सारखेच लागू पडते.

उपमेच्या भाषेत बोलायचे, तर येथवरचे वर्णन हे सीसॉची फळी कोणत्या तरी एकाच बाजूस टेकून स्थिर राहते, या तिच्या प्रवृत्तीशी साम्य दर्शविणारे झाले. तिला

अल्प जोर लावताच ती दुसरीकड कलंडून स्थिरावते, व पुनः दुसऱ्या बाजूने अल्प जोर लावला जाताच पूर्व स्थितीवर येऊन तिचे मूळचे ठीक जमिनीवर स्थिरावते, या दोन स्थित्यंतरांशी साम्य दर्शविणाऱ्या सरणीच्या कृतीचे वर्णन वर आले नाही. ते वर्णन असे :

समजा, वाहक स्थितीत असलेल्या उजवीकडच्या ट्रॅन्झिस्टर १ च्या बेसला क या बिंदूपाशी – ५ व्होल्ट म्हणजे पुरेसे ऋण बर्चस पुरविले तर त्या ट्रॅन्झिस्टरच्या बेसमध्ये प्रवाहप्रतिकूलता निर्माण होईल, तो ट्रॅन्झिस्टर बंद (off) होईल, आणि, वर आकडेवारीने दर्शविलेल्या कारण-परंपरेमुळे त्याच क्षणी डावीकडच्या ट्रॅन्झिस्टर २ मधून प्रवाह सुरू होईल ! फळी जणू दुसऱ्या बाजूस कलंडली अशी परिस्थिती प्राप्त होईल.

येथे हेही ध्यानी घ्यावे की हेच काम, बंद असलेल्या ट्रॅन्झिस्टर २ च्या बेसला पुरेसे धनबर्चस पुरवूनही साधता येईल.

आता, फळी पुनः म्हणजे दुसऱ्यांदा कलंडवून तिच्या पूर्वस्थितीप्रत आणण्याच्या सदृश अशी कृती प्रस्तुत फ्लिप्-फ्लॉप् सरणीच्या बाबतीत कशी करावयाची याचा फारसा खुलासा सांगण्याची जरूरी नाही. ट्रॅन्झिस्टर १ च्या बेसला क बिंदूतून पुरेसा धन पुरवठा (समजा+५ व्होल्टचा) किंवा ट्रॅन्झिस्टर २ च्या बेसला ड बिंदूतून पुरेसा ऋणविजेचा पुरवठा (समजा-५ व्हो.) करताच सरणी पूर्वस्थितीवर येईल.

सरणीतील योग्य त्या ट्रॅन्झिस्टरच्या बेसला क्षणिक व अल्प चेतना पुरवून तिची स्थिती सारखी सारखी बदलवणे हे तिचे एक तऱ्हेचे कंपनच होय. पण अशा तऱ्हेने कंपनसुलभ असूनही, ही सरणी सीसॉच्या फळीसारखी दोनपैकी एका अवस्थेत स्थिर राहण्यास प्रवृत्त असते. याकारणे तिला ' द्विस्थिति कंपक ' म्हणणे योग्य ठरते. इंग्रजीत तिला Bistable Multivibrator म्हणतात.

फ्लिप्-फ्लॉप् सरणीची स्थिती बदलवण्याकरता पाठविण्यात येणाऱ्या वीज-बर्चसाच्या या स्पंदांना Triggering pulses किंवा नुसते Triggers म्हणतात. बंदुकीच्या चापाला Trigger म्हणतात, हे वाचकांना माहीत असेल. चाप ओढताच घोडा काडतुसावर आपटून व काडतुसात स्फोट होऊन गोळी पुढे निघते व बंदुकीच्या नळीतून बाहेर पडते....इ. क्रिया घडतात. म्हणजे ' चाप ओढणे ' हे, नंतरच्या, क्रमाने घडणाऱ्या घटनांच्या सुरुवातीचे निमित्त ' असते. इथेही त्या शब्दाला तो अर्थ अभिप्रेत आहे. एका Trigger स्पंदाने, नियोजित अशा कितीतरी घटना क्रमाने घडतात ! या घटनाक्रमाविषयीची माहिती लवकरच मिळणार आहे.

या बाबतीतील आणखी काही तांत्रिक संज्ञा महत्त्वाच्या आहेत, त्या अशा :— फ्लिप्-फ्लॉप्ची ' मूळची स्थिती बदलवणे ' या कृतीला ' Set ' म्हणतात. तर स्थिती पुनः बदलवून ती ' पूर्ववत करणे ' या कृतीला ' Reset ' म्हणतात. तसेच, सरणीतील ज्या बाजूचा ट्रॅन्झिस्टर वाहक स्थितीत असल्याने त्याच्या ग्राहकाचे बर्चस् 0 व्होल्ट असते त्या बाजूला ' 0 बाजू ' म्हणतात, व यावेळी दुसऱ्या ट्रॅन्झिस्टरच्या ग्राहकाचे बर्चस्

निर्योजित तेवढे उपलब्ध असल्याने, म्हणजे ते "१" असल्याने त्या बाजूला '१ बाजू' म्हणतात. या दोन बाजूंकडून (त्यांच्या ग्राहकांतून) मिळणारी वर्चसे ही अर्थातच या सरणीची उद्गते किंवा उत्पतिते (outputs) होत, व ती अनुक्रमे "0" व "१" असतात. दोनपैकी कोणत्याही ट्रँन्झिस्टरच्या बेसला धन-ऋणतेच्या दृष्टीने सोयीचा वीजस्पंद पाठविणे ही अर्थात निवेशन-कृती होय व असा किंवा असे स्पंद ही सरणीची निविष्टे (inputs) होत.

अंक, संख्या मांडण्याकरता फ्लिप्-फ्लॉप् सरणीचा उपयोग. या माहिती-वरून असे ध्यानी येईल की, येणेकरून, कोणताही द्विमानांक मांडण्याची, व मांडल्या-नंतर 'पुढच्या आकडेमोडीकरता तो उपलब्ध होण्याची व्यवस्था झाली आहे ! फ्लिप्-फ्लॉप् सरणीच्या दोन अवस्था या "0" व "१" च्या निदर्शक मानायच्या म्हणजे झाले.* सरणीची मूळची (म्हणजेच Reset होऊन पूर्ववत् होते ती) अवस्था "0" ची निदर्शक, तर Set अवस्था "१" ची निदर्शक असे स्वाभाविकपणेच ठरते. कोणत्याही क्षणी फ्लिप्-फ्लॉप् सरणीची दोन उद्गते परस्पर-विरुद्ध असतात. मग त्यातले कोणते उद्गत त्या सरणीच्या साहाने मांडला जाणारा अंक दर्शवते ? असा प्रश्न उद्भवतो. हा असंदिग्धपणा टाळण्यासाठी सरणीतील एकाच बाजूच्या (आकृती-तील उजव्या बाजूच्या) ट्रँन्झिस्टरचे उद्गत हे सरणीतील अंकाचे प्रातिनिधिक असल्याचे संकेताने समजतात.

---

* वीजकीय दृष्ट्या दोनच स्थिर स्थिति असलेले, अर्थात् Bistbale घटक, उदा. ट्रँन्झिस्टर, फ्लिप्-फ्लॉप इ. निर्मिणे व उपयोजणे सुलभ असल्याने, अशा एका घटकाच्या 'या किंवा त्या' स्थितीचा अर्थ '0 किंवा १' असल्याचे संकेताने समजून व द्विमान किंवा द्विमानांकित (BCD) पद्धतीचा उपयोग करून संगणकाकडून सर्व गणिती कामे करून घेता येतात, हा प्रस्थापित समज आहे. पण या समजाला आनंददायक धक्का देणारी एक वार्ता SOVIET UNION या मासिकाच्या १९७१ च्या ४ (२५३) या अंकात आढळली. वार्तेचा सारांश असा :– रशियन शास्त्रज्ञ व तंत्रज्ञांनी 'दहा स्थिर स्थिती' असलेले अर्थात् 'दशस्थिती', 'Decastable' वीजकीय घटक सिद्ध करण्यात यश मिळविले आहे ! अशा केवळ एका घटकाची एकेक स्थिर स्थिती एकेका दशमान अंकाची निदर्शक असल्याचे योग्य संकेताने समजता येते व परिणामी संगणकाच्या कार्य-पद्धतीत दशमान पद्धती योजूनच सर्व काम होऊ शकते !

सध्याच्या संकेतानुसार व तंत्रानुसार १ दशमान अंक व्यक्तविण्याकरता ४ द्विमानांक, ते व्यक्तविण्याकरता ४ फ्लिप्-फ्लॉपची मालिका, व त्या मालिकेकरता एकंदर ८ ट्रँन्झिस्टर लागतात. म्हणजे या ८ घटकांचे काम १ रशियन नवसंशोधित घटक पार पाडतो.

[तळटीप पुढील पानावर चालू.]

अशा अनेक फ्लिप्-फ्लॉप् सरण्या एका ओळीत सिद्ध ठेवून त्यांच्या द्वारा तितक्या द्विमान-अंकांची ओळ–अर्थात् संख्या–मांडता येते. संख्या मांडण्यापूर्वी सर्व सरण्या अर्थातच Reset असतात, म्हणजे त्यांच्या स्थानी सर्वत्र "o" हा अंक मांडलेला असतो. दुसऱ्या शब्दात, संगणकातील ही 'पाटी' 'कोरी' किंवा 'पुसलेली' असते. येथे एक मजेदार गोष्ट लक्षात येईल की, अशा कोऱ्या पाटीवर कोणतीही संख्या मांडताना, त्या संख्येत ज्या ज्या स्थानी "१" हा अंक असेल त्या त्या स्थानाच्या निदर्शक सरण्यांनाच तेवढे Set करणारे स्पंद पाठवावे लागतात, "o" मांडण्याकरता विशेष काही करावे लागत नाही, त्या त्या स्थानाची सरणी मूळचीच तेथे "o" मांडले असल्याचे दर्शवीत असते. फ्लिप्-फ्लॉप् सरणीच्या अशा मालिकेला संगणक-विज्ञानात 'Register' असे म्हणतात.

संख्या मांडून त्यांची बेरीज-वजाबाकी करता यावी याकरता संगणकामध्ये रजिस्टर मालिका व बेरजेची कृती करणाऱ्या (Adder, संकलक) सरण्यांच्या मालिका शेजारी शेजारी सिद्ध ठेवलेल्या असतात. आकृती ११·२ मध्ये या वर्णनाने सुचविले जाणारे चित्र दिले आहे.

गेल्या प्रकरणाच्या शेवटी दिलेल्या 'त्रिवृत सूत्रान्वये बेरीज करणाऱ्या' सरणीच्या चित्रात, ज्यांची बेरीज करावयाची त्या संख्यांची मांडणी अध्याहृत होती, ती येथे स्पष्ट झाली आहे. एकेका दशांकाच्या चार चार द्विमानांकांची मांडणी दर्शविणारे गट वेगवेगळे दाखविले आहेत हे ध्यानी घ्यावे.

द्विमान गणना करणारी सरणी (Binary Counter). फ्लिप्-फ्लॉप् सरण्यांची मालिका विशेष रीतीने जोडून द्विमान पद्धतीने गणना करणारी सरणी सुलभतेने

~~~~~~~~~~

[मागील पानावरील तळटीप चालू]

घीजकीय घटकांच्या संख्येत एवढी मोठी कपात शक्य झाल्याने संगणकाचा आकार पुष्कळच लहान होऊ शकतो, व मुख्य म्हणजे, सद्यःस्थितीत संगणकाला गणित घालताना लागणारी दशमान–ते–द्विमान परिवर्तन करणारी यंत्रणा, व संगणकाने गणिताचे उत्तर परत करताना लागणारी द्विमान–ते–दशमान परिवर्तन यंत्रणा, या यंत्रणांची (Translators ची) या नव्या शोधामुळे जरूरी उरत नाही, असा रशियन शास्त्रज्ञांचा दावा आहे. त्यांनी आपल्या या शोधाची पेटंटस् विविध देशांतून घेतली असल्याचे व रशियातील कीव्ह येथील कारखान्यात वरील घटक व त्यांचा उपयोग करून बांधलेले छोटे संगणक तयार होऊ लागल्याचे निवेदिले आहे.

पण या महत्त्वपूर्ण घटकांबद्दलची तांत्रिक माहिती उपलब्ध नाही, व शुद्ध दशमान पद्धती उपयोजून काम करणारे हे संगणकही अद्याप कुठे वापरात आले असल्याचे माहीत नाही.
~~~~~~~~~~

---- क७ क६ क५ क४ क३ क२ क१

दोन फ्लिप्-फ्लॉप् मालिकांवर मांडलेल्या दोन संख्या

---- ख६ ख५ ख४ ख३ ख२ ख१

इष्ट गणिती कृती करणारी, समजा नियुत बेरीज करणारी सरणी.

बेरजेचे उत्तर जिच्यावर मांडले जाते ती फ्लिप्-फ्लॉप् मालिका

---- क्ष६ क्ष५ क्ष४ क्ष३ क्ष२ क्ष१

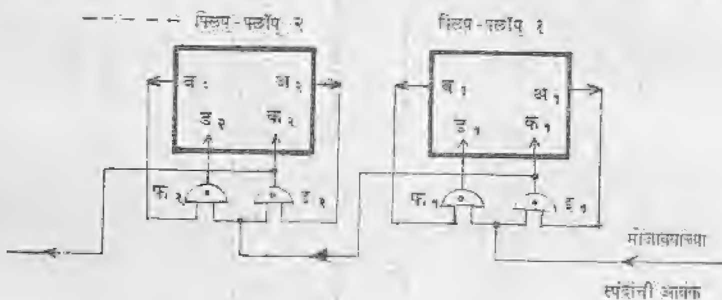
आकृती ११·२ संबंधित दोन संख्या (operands), त्यांवर इष्ट गणिती कृती करणाऱ्या सरण्या, व कृतीच्या निकालाची संख्या यांचे साहचर्य.

सिद्ध करता येते. द्विस्थिति कंपक सरणीचा हा आणखी एक उपयोग आता अभ्यासायचा आहे. आकृती ११·३ मध्ये या गणक सरणीचे चित्र दिले आहे. गणक सरणी समजण्याकरता फ्लिप्-फ्लॉप् सरणीचे एक वैशिष्ट्य नीट लक्षात घेतले पाहिजे :— फ्लिप्-फ्लॉप्च्या दोन ट्रॅन्झिस्टरपैकी जो वाहक स्थितीत नसेल त्याच्या बेसला धन विजेचा स्पंद पोचवताच तो वाहक बनतो, अर्थात् दुसरा ट्रॅन्झिस्टर तत्क्षणी बंद होतो, व पर्यायाने सरणीची स्थिती बदलते–Set होते– हे खरे. (आपण NPN ट्रॅन्झिस्टर वापरले असल्याने बंद ट्रॅं. चालू करण्यास धन बीज लागते.) पण, याप्रमाणे वाहक झालेल्या त्याच ट्रॅन्झिस्टरच्या बेसला पुनः दुसरा, किंवा लागोपाठ कितीही धन-बीज स्पंद पोचविले तरी त्याच्या किंवा सरणीच्या स्थितीत काहीही फरक पडणार नाही ! मात्र त्याला ऋण विजेचा स्पंद पोचविला तर तो बंद होईल व सरणी पूर्ववत् Reset होईल. किंवा असे करण्याऐवजी, धन विजेचाच स्पंद, पण तो दुसऱ्या ट्रॅन्झिस्टरच्या बेसला पोचविला, तरीही सरणीची स्थिती पूर्ववत् होईल. याचा इत्यर्थ हा की, फ्लिप्-फ्लॉप् सरणीची स्थिती एकसारखी बदलत राहावी अशी इच्छा असेल, तर

(१) सरणीतील एकाच ट्रॅन्झिस्टरला आलटून पालटून धन, ऋण, धन, ऋण असे परस्परविरुद्ध दिग्बद्धतेचे (polarity चे) स्पंद पोचविले पाहिजेत, किंवा

(२) एकाच दिग्बद्धतेचे स्पंद पाठवणे शक्य असेल, तर ते आलटून पालटून एका व दुसऱ्या ट्रॅन्झिस्टरला पोचविले पाहिजेत.

सोयीच्या दृष्टीने वरीलपैकी दुसरा पर्याय ग्राह्य आहे. स्पंदांचे पोचण्याचे ठिकाण (destination) एकसारखे बदलले जाते, व परिणामी साधले काय जाते, तर एकापाठोपाठ येणाऱ्या अनेक स्पंदांची मोजणी व त्यांच्या संख्येची नोंदणी ! हे काम कसे साध्य होते याची कल्पना आकृती ११·३ वरून येईल. आकृतीत दोन फ्लिप्-फ्लॉप्



आकृती ११·३ द्विमान गणक सरणी (Binary Counter)

सरण्या (ठळक चौकटी) जोडलेल्या दाखविल्या आहेत. क्र. २ च्या सरणीच्या पलीकडे डाव्या बाजूस क्र. ३, क्र. ४........ अशा आणखी अनेक फ्लिप्-फ्लॉप् सरण्या याच क्रमाने जोडलेल्या असल्याचे समजावे. प्रत्येक सरणीचे धनबीजयुक्त उद्गत त्याच बाजूच्या ट्रॅन्झिस्टरच्या बेसला बाहेरून जोडले आहे, पण या जोडणीत मध्ये एकेक

AND द्वार (AND सरणी, AND Gate) घातलेले आहे. पुढे, मोजावयाचे स्पंद ज्या तारेतून येतात तिचे दोन फाटे करून एकेक फाटा, पहिल्या फिलप्-फ्लॉप् सरणीशी निगडित असलेल्या दोन AND सरणींचे एकेक निविष्ट म्हणून जोडला आहे. प्रत्येक फिलप्-फ्लॉप् व तिला जोडलेल्या दोन AND सरण्या मिळून या गणक-सरणीचा एक घटक किंवा एक टप्पा (unit) होतो.

गणनेचे काम कसे चालते ते आता पाहू. सुरुवातीस सर्व फिलप्-फ्लॉप् मूळच्या स्थितीत आहेत, म्हणजे प्रत्येकीचे उजव्या बाजूचे ट्रॅन्झिस्टर वाहक स्थितीत असून त्यांच्या ग्राहकांचे वर्चस् ० व्होल्ट आहे. अर्थात त्यांचे उद्गत " ० " आहे असे समजायचे. प्रत्येकीचे डाव्या बाजूचे उद्गत अर्थात " १ " आहे. अशा परिस्थितीत मोजावयाचा पहिला स्पंद पहिल्या घटकाप्रत येऊन पोचतो व त्या घटकाच्या फ$_1$ व ई$_1$ या दोन्ही AND द्वारांपाशी एकाचवेळी पोचतो. इ$_1$ या द्वाराचे दुसरे निविष्ट " ० " असल्याने या द्वारातून फलस्वरूप काहीच बाहेर पडत नाही. पण फ$_1$ च्या बाबतीत, त्याचे दुसरेही निविष्ट अस्तिपक्षी म्हणजे " १ " असल्याने, त्या द्वारातून धनविजेचा एक स्पंद बाहेर पडतो (उद्गत होतो). हा स्पंद डावीकडच्या बंद असलेल्या ट्रॅन्झिस्टरच्या बेसला पोचताच तो ट्रॅन्झिस्टर वाहक होतो, ब$_1$ बिंदूतून निघणारे त्याचे ग्राहक वर्चस् ० व्होल्ट होते, आणि तत्क्षणी उजव्या ट्रॅन्झिस्टरच्या ग्राहकाचे वर्चस् नियोजित तेवढ्या धन मूल्याचे म्हणजे " १ " होते व परिणामतः सरणी Set होते तिची मूळची स्थिती पालटते. पुढे याच कारणपरंपरेमुळे दुसरा स्पंद केवळ उजव्या बाजूच्या ट्रॅन्झिस्टरच्या बेसला पोचतो व फिलप्-फ्लॉप्ची स्थिती उलटवितो म्हणजे Reset करतो, मूळची होती तशी करतो.

पण हा दुसरा बदल घडत असताना आणखी काही घडावे अशी योजना असते. इ$_1$ या AND द्वारातून बाहेर पडणारा सदर स्पंद उजवीकडच्या ट्रॅन्झिस्टरला पोच-विणाऱ्या तारेला एक फाटा काढून ती तार गणक सरणीतील क्र. २ च्या घटकाला जोडलेली असते, ज्या रीतीने मोजायचे स्पंद आणणारी मूळची तार घटक क्र. १ ला जोडलेली असते त्याच रीतीने. यामुळे,

प्रस्तुत क्र. २ चा स्पंद एकंदर दोन कामे करतो. तो पहिली फिलप्-फ्लॉप् Reset करतो पण त्याचबरोबर, स्पंदाचे ते लोण गणक सरणीच्या दुसऱ्या घटका-प्रत पोचवून त्याची फिलप्-फ्लॉप् Set करतो. पुढे,

क्र. ३ चा स्पंद पहिल्या घटकाची फिलप्-फ्लॉप् पुनः Set करतो; पण या वेळी क्र. २ च्या फिलप्-फ्लॉप्ला या बदलाची काहीच वार्ता पोचत नाही.

क्र. ४ चा स्पंद मात्र क्र. १ ची फिलप्-फ्लॉप् Reset करतो व त्याचबरोबर क्र. २ च्या घटकात पोचून त्याचीही फिलप्-फ्लॉप् Reset करतो, व क्र. ३ च्या (आकृतीत न दाखविलेल्या) घटकापर्यंत स्पंदाचे लोण पोचवून त्याची फिलप्-फ्लॉप् Set करतो.

वाचकहो, प्रत्येक नवा स्पंद गणक सरणीत शिरल्यावर तिच्या पहिल्या, दुसऱ्या, तिसऱ्या, चौथ्या....घटकांच्या स्थितीत कोणते बदल घडवितो हे आता तुमचे तुम्हीच सांगू शकाल. तेच तेच शब्द असलेली, वाढत्या लांबीची वाक्ये आणखी वाचून कंटाळा मात्र येईल. याला तोड म्हणून, आकृती ११·४ मध्ये, लागोपाठच्या स्पंदांमुळे गणक सरणीच्या

	द्विमान गणक सरणीच्या घटकांची स्थिति				स्पंदांचा क्रम
	०	०	०	०	० वा
	०	०	०	१	१ ला
	०	०	१	०	२ रा
	०	०	१	१	३ रा
		१	०	०	४ था
		१	०	१	५ वा
		१	१	०	६ वा
		१	१	१	७ वा
	१	०	०	०	८ वा
	१	०	०	१	९ वा
	१	०	१	०	१० वा
१	०	०	०	०	१६ वा

आकृती ११·४ **द्विमान गणना व नोंदणी**

फ्लिप्-फ्लॉप् घटकांची स्थिती कशी होते ते दाखविले आहे. फ्लिप्-फ्लॉप्च्या चौकटींचा आकार आणखी बारीक झाला आहे हे क्रमप्राप्तच होय.

आता या चौकटींच्या मालिकातील नुसते अंकच ध्यानी घ्यावेत (म्हणजे ते बाकी ठेवून चौकटी जणू पुसून टाकाव्यात) म्हणजे लक्षात येईल की **सरणीत पोचलेल्या बीजस्पंदांची संख्या द्विमान पद्धतीने मांडली गेली आहे** ! थोडक्यात, स्पंद मोजण्याचे व मांडण्याचे अशी दोन्ही कामे झाली आहेत !

असे क्रमाने येणारे बीजस्पंद मोजण्याची संगणकात अनेक प्रयोजने असतात. एका नित्याच्या प्रयोजनाचा उल्लेख मागे केला आहे— कर्मचाऱ्यांचे पगार, भत्ते इत्यादींचे हिशेब चालू असताना झालेल्या हिशेबांची मोजदाद ठेवली जाणे आवश्यक असते. कारण, विशिष्ट हुद्याच्या कर्मचाऱ्यांच्या हिशेबानंतर करावयाच्या दुसऱ्या विशिष्ट हुद्याच्या कर्मचाऱ्यांच्या हिशेबात, भत्त्यांचे, पगाराशी असलेले फंडाचे इ. प्रमाणे बहुधा वेगळीं असल्याने त्यांचे गणित वेगळे असते; व प्राज्ञापकाने (Programmer ने) तर ' अमुक इतक्या हिशेबानंतर ' पुढचे हिशेब अमुक रीतीने करावेत, एवढीच सूचना संगणकास दिलेली असते. तेव्हा ' अमुक इतक्या हिशेबानंतर ' या गोष्टीचे अवधान ठेवण्याकरता, संगणकाने, पूर्ण होणाऱ्या हिशेबांची मोजणी व नोंद (counting and noting) ठेवणे आवश्यक असते.

दशमान गणना करणारी सरणी. द्विमान गणना करणाऱ्या सरणीच्या जोडणीत थोडा बदल करून तिचे दशमान गणना करणाऱ्या सरणीत म्हणजेच ' दशकगणकात '— Decade Counter मध्ये— रूपांतर करता येते. तो बदल आकृती ११·५ मध्ये दर्शविला आहे. आकृती ११·३ च्या साह्याने गणक सरणीच्या घटकांतील कृतीचा तपशील सांगावयाचा होता; तेथे केवळ दोन घटक दर्शविलेले पुरेसे होते. येथे निदान चार घटकांची आवश्यकता आहे, व त्यांना अ, ब, क, ड अशी नावे देणे सोयीचे आहे.



आकृती ११·५ **दशक गणक सरणी** (Decade Counter)
अर्थात् निविष्ट स्पंदांची मोजणी दशमान पद्धतीने व मांडणी ' द्विमानांकित दशमान ' (BCD) पद्धतीने करणारी सरणी.

सरणीतील डावीकडच्या पुढच्या पुढच्या घटकांना स्पंदांचे लोण पोचणे आणि ' हातचा ' डावीकडे नेणे ही एकाच गोष्टीची दोन स्वरूपे असल्याचे, आणि सरणीत सम क्रमांकाचे स्पंद प्रवेशतात तेव्हा ही क्रिया घडत असल्याचे ध्यानी आले असेल- द्विमान गणनेच्या दृष्टीने ते यथायोग्यच आहे. या रीतीने प्रस्तुतचे अ ब क ड हे घटक

एकंदर १५ स्पंद मोजू शकतील व १६ व्या स्पंदाच्या प्रवेशाने ते सर्व Reset म्हणजे पूर्ववत् – शून्यदर्शक– होतील आणि (आकृतीत न दाखविलेला) डावीकडचा, समजा ई हा घटक Set होईल. पण आपणास अशी योजना हवी आहे, की १६ व्या स्पंदाने घडते ती क्रिया १० व्या स्पंदाने घडावी, व उपरोक्त चार घटकांच्या गटात जास्तीत जास्त ९ स्पंदांचीच नोंद व्हावी. यामुळे साधेल काय, ते सहज स्पष्ट आहे—मोजलेल्या स्पंदांची संख्या चौ-घटकी गटांच्या मालिकेत द्विमानांकित स्वरूपात (म्हणजे संख्येचे अंक द्विमान पद्धतीचे, पण स्वतः संख्या दशमान पद्धतीची, अशा स्वरूपात) मांडली जाईल !

हे साधण्याकरता गणक सरणीच्या जोडणीत करावा लागणारा बदल अल्प आहे—ड या चौथ्या घटकाचे उद्गत क व ब या तिसऱ्या व दुसऱ्या घटकांच्या निवेशनस्थानी पुनः जोडले आहे. या तऱ्हेच्या जोडणीला Feedback म्हणतात. वीजप्रवाहातून फाटा (किंवा पाट) काढून नेण्याची योजना आपण नुकतीच पाहिली; Feedback मध्ये काढलेला फाटा (पाट) मूळ प्रवाहालाच वरच्या बाजूस इष्ट तेथे जोडलेला असतो. Feedback ला मराठीत ' प्रतिभरण ' किंवा ' प्रतिप्रेषण ' शब्द यथार्थ ठरतात.

या रचनेमुळे येथे घडते ते असे :—७ स्पंद सरणीत शिरेपर्यंत ड या घटकात काहीही स्थित्यंतर होत नाही, पण ८ वा स्पंद शिरताच तो घटक Set होतो (म्हणजेच त्याचा डावा ट्रॅन्झिस्टर सुरू व उजवा बंद होतो, आणि उजव्या बाजूचे ग्राहक वर्चस् उपलब्ध होते) अर्थात तो घटक " १ " चा निदर्शक होतो. पण यावेळी उजवीकडचे क, ब, अ हे तिन्ही घटक Reset झालेले, अर्थात् " ० " चे निदर्शक झालेले असतात. अशा स्थितीत ड मधून निघालेले प्रतिप्रेषणाचे संदेश हे क आणि ब यांच्या बाबतीत तोतये स्पंदच ठरतात, व नववा खराखुरा स्पंद सरणीत प्रवेश करण्याच्या बरेच आधी ते या दोन्ही घटकांना Set करून ठेवतात. या घटनांचे वर्णन पुढीलप्रमाणे करता येते :—

८ व्या स्पंदाने घटकांची स्थिती वास्तविक		१००० अशी व्हायची, पण
प्रतिप्रेषणामुळे	ती	११10 अशी होते.
अर्थातच ९ व्या स्पंदाने	ती	११११ अशी होईल, व
१० व्या स्पंदाने	ती अर्थातच	0000 अशी होईल, आणि

ड लगतच्या डावीकडच्या (आकृतीत न दाखविलेल्या) समजा ई ची स्थिति १ होईल.

८ वा ते १५ वा स्पंद मोजताना या चौ-घटक गटाच्या एरवी ज्या स्थिती झाल्या असत्या त्या वगळून आपण इष्ट ते साधले आहे.* या गटाप्रमाणेच त्याच्या

* द्विमानांकांच्या चौ-घटक गटातून डावीकडच्या गटाकरता हातचा निघावयाचा, तो त्या गटाचे मूल्य १६ होईपर्यंत खोळंबलेला न राहता, ते १० होताच निघावा हे साध्य मागे विद्युत सूत्राच्या बाबतीतही, पण वेगळे तंत्र वापरून साधले होते. त्याच्याशी प्रस्तुत तंत्राची तुलना करावी.

डावीकडच्या सर्व गटांत प्रतिप्रेषणाची योजना करावी लागेल हे उघड आहे.

द्विस्थिति कंपक सरणी व तिच्या उपयोगाने साध्य होणारी संगणकाची दोन प्रमुख कामे–अंकांची मांडणी व मोजणी–आपण या प्रकरणांत अभ्यासली. पुढील प्रकरणांत कंपक सरणीचे आणखी दोन प्रकार व त्यांच्या द्वारा साधावयाची कामे समजून घ्यावयाची आहेत.

प्रकरण : १२

कंपक सरण्या (Multivibrators) भाग २

चिरकंपक सरणी (Free-running or Astable Multivibrator) – संगणकातील घटनांच्या क्रमाचे नियंत्रण करणारे घड्याळ.

एकस्थिति-कंपक सरणी (Monostable or Single-shot Multi-dyvibrator) – **विलंबकारी सरणी** (Delay Multidyvibrator).

संख्या डावी-उजवीकडे सरकवण्याची योजना (Shift Register).

चिरकंपक सरणी (Free - running or Astable Multivibrator).

द्विस्थिति-कंपक सरणीच्या म्हणजेच फ्लिप्-फ्लॉप सरणीच्या रचनेत थोडा बदल करून चिरकंपक सरणी सिद्ध केलेली असते. आकृती १२·१मध्ये या सरणीची आवश्यक वैशिष्टये दर्शविली आहेत. आकृती ११·१ मधील फ्लिप्-फ्लॉप् सरणीच्या **रो$_{२}$** व **रो$_{१}$** या दोन रोधकांच्या (Resistors च्या) ऐवजी येथे **धा$_{१}$** व **धा$_{२}$** हे दोन धारक (Capacitors) घातले आहेत, व दुसरा महत्वाचा बदल म्हणजे येथे दोन्ही ट्रॅन्झिस्टरांचे मध्यस्तर (बेसेस) धन-वीज पुरवठ्याच्या तारेला जोडलेले आहेत. (फ्लिप्-फ्लॉप् च्या बाबतीत ते ऋण-वीज पुरवठ्याला जोडलेले आहेत.) मात्र येथेही या जोडणीत **रो$_{२}$** व **रो$_{१}$** हे फार मोठ्या रोधकतेचे–काही लक्ष ओम्स रोधकतेचे – रोधक बसवलेले आहेतच. दोन्ही सरण्यांतील ग्राहक-रोधक (**ग्रा. रो$_{२}$** व **ग्रा. रो$_{१}$**) प्रत्येकी ५ हजार ओम्स सारख्या, तुलनेने नगण्य रोधकतेचे आहेत. धन व ऋण वीज पुरवठा पूर्वीसारखाच **ध** व **ऋ** या बिंदूतून केलेला आहे.

नावावरूनच या सरणीच्या कार्याचा बोध होतो. तिच्यातून उपलब्ध होणारे वीज-वर्चस सतत कमी जास्त होत राहते–त्याच्या मूल्यात जणू कंपन होत राहते– व विशेष म्हणजे, या सतत घडणाऱ्या बदलांना बाहेरून वीजस्पंदांच्या रूपाने चेतना पुरवावी लागत नाही. या चमत्कारास मुख्यत्वे कारणीभूत असणारा घटक म्हणजे ' धारक ' हा होय. त्याची माहिती आता करून घेऊ.

धारक : (Capacitor). या सरणीत बसविलेला विशेष घटक म्हणजे धारक. याची रचना व कार्यपद्धती यांचे ज्ञान आपणांस कदाचित नसेल; त्याची त्रोटक माहिती अशी :— एकमेकांजवळ आणि समांतर बसविलेल्या धातूच्या दोन पत्र्यांमध्ये एखादा

दुर्वाहक (insulating) पदार्थ बसवून धारकाची रचना केलेली असते. या पत्र्यांना–जे अर्थातच सुवाहक (good conductors) असतात, त्यांना– धारकाची ' वीजप्रस्थे ' (electrodes or plates) म्हणतात. मधला दुर्वाहक पदार्थ हा हवा, अभ्रक, मेण लावलेला कागद इ. पैकी असू शकतो. आता, समजा या प्रस्थांना बाहेरच्या बाजूने विजेरीची अग्रे जोडली तर धारकास वीज-पुरवठा होऊ लागतो. 'होऊ लागतो' असे म्हणण्याचे कारण, पुरवठा पूर्ण होणे, म्हणजे हे साधन विजेने पूर्णतया भारित होणे, म्हणजेच दोन प्रस्थांमध्ये विजेरीच्या दोन अग्रांमधील इतका वर्चोभेद (potential difference) प्रस्थापित होणे, ही गोष्ट तत्काल घडत नाही ! दुसऱ्या शब्दात, ' ऋण-विद्युत्-अग्राला जोडलेल्या प्रस्थावरील इलेक्ट्रॉन्स्ची गर्दी विजेरीच्या ऋणाग्रावरील इतकी होणे, वा धन-प्रस्थावरील त्यांची गर्दी विजेरीच्या धन-अग्रावरील इतकी कमी होणे ' या गोष्टींना किंचित विलंब लागतो. प्रस्थांच्या-पत्र्यांच्या–विस्तारामुळे, त्यांची व पर्यायाने या साधनाची ' वीजधारणक्षमता ' (capacitance) वाढते व त्यामुळे असे घडते. विलंबाला आणखी एक कारण संभवते; ते म्हणजे, विजेरी–ते–धारक या मार्गात वीजप्रवाहाला काही अडथळा–रोधक–असला तर प्रवाह क्षीण राहतो व धारकामध्ये विजेचा साठा (elec. charge) लवकर होत नाही. एवंच, कोणताही वीजधारक पूर्णपणे भारित होण्यास लागणारा काल हा त्याच्या धारणक्षमतेवर व प्रवाहातील रोधावर अवलंबून असतो.
सूत्ररूपाने :—**धारणकाल = धारणक्षमता × रोधन.**

भारित झालेल्या धारकापासून विजेरी अलग केली तरी त्याच्या प्रस्थांवरील वीज-भार–वीजसाठा–तसाच टिकून राहतो व ती प्रस्थे पुनः दुसऱ्या मार्गाने जोडली, तर त्य मार्गात कमीअधिक रोधन असेल त्या मानाने त्वरेने किंवा सावकाश वीजसाठ्याचे उत्सर्जन होते. या बाबतीतही,

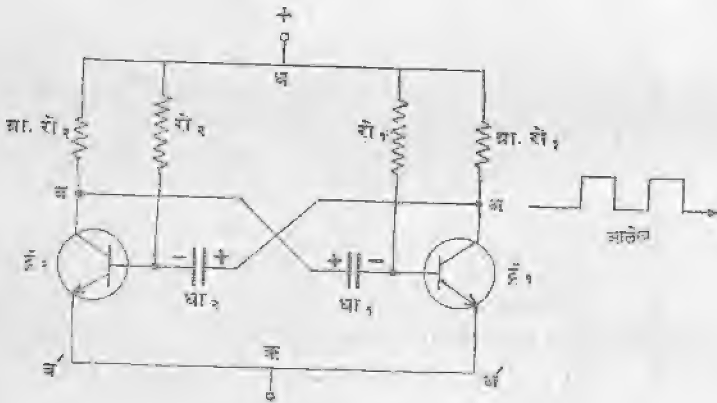
उत्सर्जनकाल = धारणक्षमता × रोधन हेच सूत्र लागू असते. धारकांमध्ये वीज ' भरणे ' (to charge) या क्रियेला ' भारण ' व तिचा निचरा घडणे किंवा घडविणे (to discharge) या क्रियेला ' उत्सर्जन ' हे शब्द यथार्थ आहेत.

धारकाची प्रस्थे एकमेकांच्या अति निकट असल्याने या साधनाच्या बाबतीत आणखी एक गोष्ट शक्य होते—**धारक ज्या प्रवाहमंडलात जोडलेला असेल, त्यातील वीजवर्चस्वात एकदम काही बदल झाला, तर तो बदल या साधनाला उल्लंघून दुसऱ्या बाजूस पोचविला जातो.** मात्र या धक्क्याचा परिणाम ओसरताच भारण वा उत्सर्जन या सावकाशीच्या क्रिया सुरू होतात.

या माहितीवरून असा एक निष्कर्ष काढता येतो की धारकाच्या भारण मार्गातील (charging path मधील) रोधक हा उत्सर्जन मार्गातल्या (discharging path मधल्या) रोधकापेक्षा कमी क्षमतेचा असेल तर भारणक्रिया लवकर पार पडेल, पण उत्सर्जन मात्र सावकाश होत राहील. आणि अशा परिस्थितीत, समजा, अमुक इतक्या प्रमाणापर्यंत उत्सर्जन घडताच योग्य ते स्विच जुटले-सुटले जावेत व भारणक्रिया पुनश्च

सुरू व्हावी अशी योजना असेल, तर भारण व उत्सर्जन यांची आवर्तने सतत होत राह-तील. सही सही याच गोष्टी चिरकंपक सरणीत घडतात.

तेव्हा प्रस्तुत चिरकंपक सरणीत प्रत्यक्ष घडते काय व ते कोणत्या तत्त्वानुसार घडते हे आपणास समजले; आता यातील घटनांचा तपशील सरणीच्या आकृतीच्या साह्याने समजून घ्यावयाचा येवढेच. प्रथम हे ध्यानी घ्यावे की, फ्लिप्-फ्लॉप् सरणी-प्रमाणे या सरणीतही एका ट्रॅन्झिस्टरचे उद्गत दुसऱ्याच्या बेसला व त्या दुसऱ्याचे उद्गत पहिल्याच्या बेसला पोचविलेले आहे; (आकृती १२·१). या दोन्ही मार्गांत वर उल्लेखलेला एक एक धारक बसविलेला आहे; पण त्याने काही बिघडत नाही. (सलग जोडणी असल्याप्रमाणे) एक ट्रॅन्झिस्टर जुटताच किंवा सुटताच दुसरा सुटणे वा जुटणे या घटना प्रस्तुत सरणीतही घडतात. द्विस्थिति-कंपक सरणीत या स्थित्यंतरांकरता बाहेरून ट्रिगर स्पंदाची आवश्यकता असते. येथे ते काम बाहेरील स्पंदाशिवाय घडते. कसे घडते ते आता पाहू.



आकृती १२·१ चिरकंपक सरणी (Astable or Free–running Multivibrator)

आकृती १२·१ च्या आधारे चिरकंपक सरणीच्या कार्यपद्धतीचे विश्लेषण पुढीलप्रमाणे होते. सरणी चालू असतानाच्या मधल्याच एखाद्या कालखंडातील घटनांचे वर्णन असे :—समजा,

एका क्षणी (१) ट्रॅन्झिस्टर$_1$ अगदी नुकताच सुटला आहे, म्हणजेच off झाला आहे; त्यामुळे,

(२) त्याच्या ग्राहकाचे (अ या स्थानचे) वर्चस पर्याप्त धन झाले आहे; त्यामुळे,

(३) ट्रॅन्झिस्टर$_2$ च्या बेसला ते पोचून तो लगोलग जुटला आहे; व

(४) त्याच्या ग्राहकावरील ब या स्थानचे वर्चस ऋण झाले आहे, कारण ब हे स्थान ब – ट्रॅ$_2$ – ब' या मार्गाने ऋण वीज-पुरवठ्यास जोडलेले आहे. या चारी घटना प्रायः एकाच क्षणी घडल्या आहेत.

अशा परिस्थितीत (१) धारक$_2$ चे भारण (charging) सुरू होते.

(२) धारक$_2$ चे डाव्या बाजूचे प्रस्थ धा$_2$–ट्रॅ$_2$–ब' या, आता उपलब्ध झालेल्या रोधकहीन मार्गाने ऋणवीज पुरवठ्यास जोडलेले आहे, तर उजव्या बाजूचे प्रस्थ ग्रा. रो.$_1$ या अल्प क्षमतेच्या रोधकावरून धन वीज पुरवठ्यास जोडलेले आहे, त्यामुळे त्याचे भारण लवकर संपते.

(३) ट्रॅन्झिस्टर$_2$ तसाच वाहक स्थितीत (जुटलेला) राहतो. पण

याच कालात (१) धारक$_1$ चे उत्सर्जन सुरू होते; आणि

(२) उत्सर्जनाचा मार्ग किंवा प्रवाहमंडल धा$_1$–ब–ग्रा.रो$_2$– ध–रो$_1$– धा$_1$ असे असल्याने, व या मंडलात प्रामुख्याने रो$_1$ हा मोठ्या क्षमतेचा रोधक असल्याने, उत्सर्जनाला (भारणाच्या तुलनेने) बराच वेळ लागतो. मात्र या कालात,

(३) धारक$_1$ च्या उजव्या ऋण-भारित प्रस्थाची व त्याला जोडलेल्या ट्रॅ$_1$ च्या मध्यस्तराची (बेसची) ऋणता हळूहळू कमी होत जाते, म्हणजेच धनता वाढत जाते; याचा अर्थ ट्रॅ$_1$ मधील परिस्थिती प्रवाहानुकूल बनत जाते, व अखेर, त्याच्या बेसची धनता पर्याप्त होताच

येणाऱ्या क्षणी (१) ट्रॅ$_1$ मधून प्रवाह सुरू होतो, अर्थात्

(२) अ या स्थानचे वर्चस तत्काल ऋण होते, व

(३) ती ऋणता धा$_2$ ला उल्लंघून ट्रॅ$_2$ च्या बेसला पोचून तो सुटतो (off होतो.)!

वरील चार परिच्छेदांपैकी पहिल्या परिच्छेदात उल्लेखलेल्या क्षणी क्र. (१) या घटनेत ट्रॅ$_1$ ऑफ् झाला होता; आता चवथ्या परिच्छेदात उल्लेखलेल्या क्षणी क्र. (३) च्या घटनेत ट्रॅ$_2$ ऑफ् झाला आहे. या दोन क्षणांमधील कालखंडाएवढ्याच पुढच्या लगतच्या कालखंडात त्याच घटना त्याच क्रमाने उलट दिशेने घडतात. अर्थातच या नंतरच्या घटना वाचताना धारक, रोधक, ट्रॅन्झिस्टर यांचे क्रमांक बदलून वाचावे लागतील. अ व अ' ऐवजी ब व ब' वाचावे लागेल इतकेच. (याचे कारण सरणीच्या डाव्या-उजव्या बाजूत तंतोतंत सारखेपणा आहे.) आणि हे दोन कालखंड संपल्यानंतर प्रस्तुत चिरकंपक सरणीच्या कार्याचे एक आवर्तन पुरे होते !

घड्याळाच्या लंबकाशी तुलना करता, एका कालखंडात तो जसा त्याच्या प्रवास-मार्गातील एका टोकापासून दुसऱ्या टोकापर्यंत जाऊन पोचतो व दुसऱ्या तेवढ्याच कालखंडात प्रवासाची दिशा पालटून पूर्वस्थानी येऊन पोचतो तसे या सरणीच्या बाबतीत घडते. तिच्यामधील वीजप्रवाह समान कालांतरांनी उलटसुलट वाहत राहतात. या आवर्तनांना कंपने म्हणजे यथार्थ ठरते. ही सरणी आलटून-पालटून दोन्ही स्थितीत जाते, पण कोणत्याच स्थितीत स्थिर राहात नाही, याकारणे तिला **अस्थिर-कंपक** किंवा **चिरकंपक** (Astable or Free-running Multivibrator) म्हणणे यथार्थ होय.

तिची कंपने चालू असताना तिच्या उद्गत बिंदूंचे (आकृती १२·१ मधील अ, ब यांचे) वर्चस बदलते ते चटकन बदलते, पण एकदा बदलल्यानंतर काही काळ (वरील एका कालखंडभर) ते तसेच टिकते. परिणामी, त्या बिंदूसंबंधीचा कालप्रवाह आणि वीजवर्चस यांचे संबंध दर्शविणारा आलेख काटकोनी नागमोडीसारखा निघतो. आकृतीत अ या उद्गतबिंदूतून निघणाऱ्या कंपनाचा आलेख दाखविला आहे. आलेखातील चढणारी उभी रेघ ही वाढत्या वीजवर्चसाची निदर्शक, तर उतरती उभी रेघ ही घटत्या वर्चसाची निदर्शक होय. आडव्या रेघा त्या त्या वर्चोमूल्याचे कालखंड दर्शवितात.

सरणीतील रोधक धारक व वीजपुरवठ्याचे व्होल्टेज यांची मूल्ये योग्य ती योजून तिची कंप्रता (frequency) म्हणजे प्रतिसेकंदाला होणाऱ्या कंपनांची संख्या इष्ट ती साधता येते. साधारणतः अशा सरण्याची कंप्रता एक दशलक्ष किंवा अधिक असते. याचा अर्थ, एका कंपनाला लागणारा कालखंड एक दशलक्षांश सेकंद (मायक्रो-सेकंद) किंवा कमी असतो.

चिरकंपक म्हणजे संगणकाच्या अंतर्भागातील एक सार्वजनिक घड्याळच होय. व्यवहारातले सार्वजनिक घड्याळ सर्वांना केवळ दिसते किंवा ऐकू येते. पण चिरकंपका-तून निघणारे चढत्या व घटत्या (positive-going, negative-going) वीज वर्चसाचे स्पंद सर्व संगणकाच्या नियोजित त्या सरण्यांना (उदा. बेरीज, गणना करणाऱ्या सरण्यांना) प्रत्यक्ष पोचविलेले असतात. हे स्पंद त्या सरण्यांमध्ये शिरून घोटाळा तर माजवीत नाहीतच, पण त्यांच्या **कामाच्या क्रमाचे नियंत्रण** करतात !

हे नियंत्रण कसे साध्य होत असेल याची काही कल्पना करता येते. अगदी साधी योजना म्हणजे— अशा प्रत्येक सरणीच्या तोंडाशी AND द्वार बसविलेले असते व त्याचे एक निविष्ट (input) म्हणजे प्रस्तुत घड्याळाचे हे स्पंद असतात. (ते जणू एकेकटे द्वारावर सतत धडका मारीत राहतात. पण द्वार उघडण्यास दुसऱ्या–किंवा आवश्यक तितक्या सर्व– सहकाऱ्यांची जरुरी असते. व दोघांच्या– सर्वांच्या– धडका एकदम बसल्या तरच द्वार उघडणे शक्य असते. आता दुसरा सहकारी म्हणजे) दुसऱ्या कोणा सरणीतून निघणारा स्पंद हा प्रस्तुत AND द्वाराचे दुसरे निविष्ट असते. या दुसऱ्या सरणीने करावयाचे ते काम क्रमाने आधी घडावे अशी अपेक्षा असते व तिच्याकडून आलेला स्पंद हा तिच्या कार्यसमाप्तीचा संदेश असतो. रास्तपणेच मग येथे

विचाराधीन असलेल्या सरणीस ' काम सुरू करा ' असा संदेश AND द्वारातून मिळतो. विचाराधीन सरणी याचप्रमाणे पुढच्या योग्य त्या सरणीला ' माझे काम संपले, तुमचे सुरू करा ' असा संदेश धाडते व तो, घड्याळाच्या पुढच्या योग्य त्या स्पंदाबरोबर तेथे पोचला तरच पुढे काम चालू होते. विविध सरण्यांच्या कामाच्या क्रमाचे नियंत्रण याप्रमाणे होते.

जाताजाता, बेरीज वजाबाकी इ. गणिती कृती करणाऱ्या सरणीस त्या कृतीस वेळ तरी किती लागतो हे पाहणे उद्बोधक ठरेल. बेरजेच्या संख्या ३०-४० द्विमानांकांच्या अशा असल्या तरी त्यांच्या सर्व आकडेमोडीस, ' हातचे ' मिळवणे इ. कामास वेळ असा जवळजवळ लागत नाहीच ! जास्तीत जास्त एक दोन मीटर लांबीच्या सरणीच्या तारांच्या इ. जंजाळातून विजेला वाहण्यास लागतो तेवढा वेळ लागतो. आता, तारेसारख्या सुवाहक पदार्थांतून विजेचा वाहण्याचा वेग हा प्रकाशाच्या वेगाच्या सुमारे दोन तृतीयांश इतका अल्प असतो; सुमारे दोन मीटर लांबीच्या तारेतून वाहण्यास विजेला केवळ एक दशकोटयांश सेकंद ($१०^{-८}$ सेकंद) लागते ! याच्याउलट, संगणकातील घड्याळाचा कंपनकाल (period) हा सुमारे एक दशलक्षांश सेकंद (मायक्रोसेकंड) म्हणजे वरील कालाच्या सुमारे शंभरपटीने मोठा असतो. यामुळे, लागोपाठच्या दोन कंपनांबरोबर निघणाऱ्या दोन स्पंदाच्या मधील काळात नियोजित सरण्यांतून इष्ट तशी वीजवहाळ घडून इष्ट त्या गणिती कृती घडणे हे सहज शक्य होते.

एकस्थिति-कंपक सरणी (Monostable Multivibrator)— दोन स्थितींपैकी कोणत्या ना कोणत्या स्थितीत स्थिर राहणारी पण योग्य चेतना मिळाली तर, आणि मिळताच, स्थित्यंतर करणारी ' द्विस्थिति-कंपक ' सरणी आपण गेल्या प्रकरणात अभ्यासली. नंतर या प्रकरणात, दोन्ही स्थितीत प्रवेश करणारी पण कोणत्याही स्थितीत स्थिर न राहणारी ' अस्थिर-कंपक सरणी ' अभ्यासली. त्यांच्या रचना व कार्यपद्धती पाहिल्यावर, त्यांच्या तुलनेने मध्यम मार्ग अनुसरणारी ' एकस्थिति-कंपक ' सरणी बांधता येण्याची शक्यता सहजच प्रतीत होते. द्विस्थिति-कंपकात एकही धारक बसवलेला नसतो, तर अस्थिर कंपकात (ट्रॅन्झिस्टरांच्या मध्यस्तरांना पोचणाऱ्या वीजप्रवाहमार्गात प्रत्येकी एक एक असे) दोन धारक बसवलेले असतात. यावरून रास्त निष्कर्ष असा निघतो की, एकस्थिति-कंपकात एकच धारक बसवावा लागेल, व तो, दोन मध्यस्तरांना (बेसेसना) पोचणाऱ्या प्रवाहमार्गांपैकी कोणत्याही एका मार्गात बसवलेला चालेल.

वस्तुस्थिती या तार्किक निष्कर्षाप्रमाणेच आहे. एकस्थिति-कंपक सरणी ही एक प्रस्थापित सरणी असून संगणकात ती महत्त्वाची कामे बजावते. तिच्या रचनेचे वरील वर्णन पुरेसे असल्याने, व बाकीच्या दोन सरण्यांच्या आकृत्या आपण तपशिलाने अभ्यासल्या असल्याने तिची आकृती नि कार्यपद्धतीचे तपशिलवार वर्णन आता आवश्यक नाही. पण, मागे सांगितलेल्या सीसॉ फळीच्या उदाहरणात थोडा फरक करून या सरणीच्या कामाची रीत उचितपणे सांगता येते. मागे द्विस्थिति (Bistable) कंपकाच्या

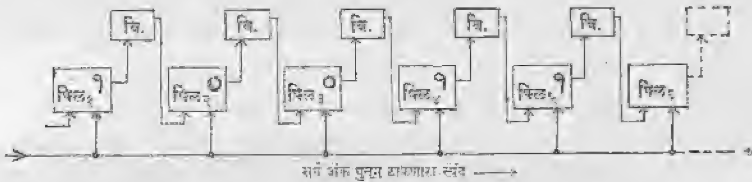
कार्याची रीत समजून घेताना, उदाहरणातील फळीच्या दोन टोकांवर दोन सारख्या वजनाची मुले बसल्याचे आपण गृहीत धरले होते. आता त्यात असा फरक करूया :— फळीच्या एका टोकावर एक वजन व्यवस्थितपणे बांधून ठेवलेले आहे, व दुसरे टोक मोकळे आहे; अर्थात वजन बांधलेले टोक जमिनीस स्थिरपणे टेकले आहे, व काही विपरीत घडले नाही तर ते तसेच कायम राहणार आहे. फळीची ही स्थिर अवस्था होय. अशा परिस्थितीत, फळीच्या दुसऱ्या टोकावर आपटावे अशा बेताने, दुसरे थोडे अधिक मोठे वजन पुरेशा उंचीवरून सोडले, तर फळीची खाली टेकलेली बाजू उसळी मारेल, व (आपटवलेले वजन लागलीच दूर जाऊन पडणार असल्याने) ती पुनः जमिनीवर येऊन टेकेल, हे उघड आहे. थोडक्यात, फळी विक्षेपित होईल व लगेच पूर्ववत् स्थिर स्थितीत येईल ! आता उदाहरणांत आणखी थोडा फरक करायचा, तो म्हणजे, येथे असे गृहीत धरायचे की, फळीचे वर उसळणे व परत खाली येऊन टेकणे या क्रियांना अत्यल्प का होईना पण वेळ लागतो. वास्तविकपणे या स्थित्यंतराला, दोन मुले बसलेल्या समतोल फळीच्या स्थित्यंतराला लागतो तितका किंवा कदाचित त्याहून कमी वेळ लागत असेल; पण प्रस्तुत उदाहरण या कंपकांना सर्वांशाने लागू पडत नाही, हे ध्यानी घ्यावे. द्विस्थिति-कंपकाच्या स्थित्यंतराला नगण्य वेळ लागतो तर असमतोल फळीच्या कृतीशी तुलना केलेल्या प्रस्तुतच्या एकस्थिति-कंपकाच्या (monostable multivibrator च्या) स्थित्यंतराला अल्प पण लक्षणीय वेळ लागतो. सरणीत बसवलेल्या धारकामुळेच हा वेळ लागतो हे उघड आहे. किंबहुना याकरताच तो धारक बसवलेला आहे. या विलंबाचा अर्थ असा करायचा की कंपकाच्या स्थिर स्थितीत विक्षेप घडविणारा विद्युत् संदेश त्याला पोचल्यानंतर त्याचे फलित म्हणून बाहेर पडणारा संदेश कंपकातून तत्काल बाहेर पडत नाही, त्याला अल्प पण नियोजित विलंब लागतो. या गुणविशेषामुळे या कंपक सरणीस **विलंबकारी कंपक** (Delay multivibrator) असेही नाव आहे. तसेच, एकाच प्रकारच्या चेतनेने एकाच प्रकारचा विक्षेप घडून ही सरणी मूळपदावर येते म्हणून तिला 'Single Shot' असेही क्वचित् संबोधतात. संगणकात या सरणीचा उपयोग प्रामुख्याने विलंबक म्हणून होतो. या विलंबकाचा एक मनोरंजक नि महत्त्वाचा उपयोग पुढे सांगितला आहे.

विलंबक सरणीचा एक महत्त्वाचा उपयोग—अंकमालिकेची सरक (Shift Register). गुणाकाराचे उदाहरण सोडवताना, गुणक संख्येतील उजवीकडून दुसऱ्या स्थानच्या अंकाने गुणून येणारा दुसरा आंशिक गुणाकार मांडतानाच आपण तो पहिल्या आंशिक गुणाकाराच्या डावीकडे एक घर सरकवून मांडतो. संगणकात सोयीकरता हे काम वेगळ्या क्रमाने होते. दोन्ही आंशिक गुणाकार आधी जणू एका खाली एक मांडले जातात, व नंतर त्यातला एक सरकवला जातो. आता, खालची, दुसऱ्या आंशिक गुणाकाराची संख्या एक घर डावीकडे सरकवण्याऐवजी वरची पहिल्या आंशिक गुणा-काराची संख्या एक घर उजवीकडे सरकवली तरी इष्ट तोच परिणाम घडेल, हे सहज

पटणारे आहे. बहुधा हा दुसरा पर्याय अवलंबिला जातो, व याप्रमाणे ‘ संख्या सरकवण्याची ’ इष्ट ती कृती पार पडल्यावर पुढची बेरजेची कृती घडते. हे संख्या सरकवण्याचे काम विलंबक सरणीच्या उपयोगाने साधले जाते.

अंकमालिकेची (अर्थात संख्येची) ‘ सरक ’ समजून घेण्याकरता अंकमालिका ‘ मांडली ’ कशी जाते याचे पुनः स्मरण करणे आवश्यक आहे— अंकमालिकेतील एकेका अंकाचे मूल्य हे, ओळीने जोडलेल्या फ्लिप्-फ्लॉप् मालिकेतील एकेका फ्लिप्-फ्लॉप् घटकाच्या उजव्या बाजूच्या ट्रॅन्झिस्टरच्या स्थितीवरून दर्शविले जाते. तो ट्रॅन्झिस्टर जुटलेला (conducting) असेल, तर त्याचे उद्गत वर्चस (output voltage) 0 किंवा योजनेप्रमाणे न्यूनतम धन असेल, व अशा परिस्थितीत त्या घटकाच्या जागी “ 0 ” मांडलेले समजले जाते. याच्या उलट, तो सुटलेला (off) असेल व अर्थात् त्याचे उद्गत वर्चस, सरणीस केलेल्या धन-वीज-पुरवठ्याइतके असेल तर त्या घटकाच्या जागी “ १ ” मांडल्याचे समजले जाते. (आपण सर्वत्र NPN ट्रॅन्झिस्टर बसवले असल्याचे गृहीत धरले आहे. त्यामुळे धन-ऋणतेची वाटणी अशी होते.)

सरक साधण्याकरता योजना कशी केली आहे ते आकृती १२·२ वरून समजेल.



आकृती १२·२ **संख्या सरकवण्याचे काम करणारी सरणी** (Shift Register)

प्रत्येक फ्लिप्-फ्लॉप् घटकाच्या उजव्या बाजूचे उद्गत (output) हे प्रथम एका विलंबक सरणीला (म्हणजेच एकस्थिति कंपक सरणीला) व तिच्या द्वारा (म्हणजे त्या विलंबक सरणीचे उद्गत) शेजारच्या उजवीकडच्या फ्लिप्-फ्लॉप् घटकाच्या डाव्या बाजूला निविष्ट (input) केले आहे. दुसरी गोष्ट, सर्व घटकांतील उजव्या बाजूच्या ट्रॅन्झिस्टरांच्या मध्यस्तरांना (बेसेसना) एकच संदेश एकाच वेळी पोचावा, अशा बेताने ते एका सार्वजनिक तारेला जोडलेले आहेत. हा संदेश (अर्थात स्पंद) मालिकेतील सर्व अंक पुसून टाकण्याकरता असल्याचे आकृतीत लिहिले आहे ते ध्यानी घ्यावे. या संयुक्त मालिकेला ‘ सरक सरणी ’ (Shift Register) असे म्हणतात. येथे उदाहरणादाखल केवळ सहा फ्लिप्-फ्लॉप् घटक व दर दोन घटकांमध्ये एक असे पाच विलंबक यांची मालिका दर्शविली आहे. अर्थात् जरुरीप्रमाणे ही मालिका खूप मोठी असू शकेल. डावीकडून पहिल्या पाच घटकांनी, समजा, अनुक्रमे १, 0, 0, १, १ हे पाच अंक धारण केले आहेत. (या द्विमान संख्येचे मूल्य १६+0+0+२+१ = १९ हे असल्याचे सहज लक्षात येईल.)

वरीलप्रमाणे रचना व परिस्थिति असताना सार्वजनिक तारेतून एक धन-वीज स्पंद पाठविला जातो. त्याच्यामुळे पुढीलप्रमाणे घडते :—

(१) ज्या घटकांच्या जागी " 0 " लिहिलेले असते, म्हणजेच जेथे संबंधित ट्रॅन्झिस्टर आधीच जुटलेले असतात, त्यांच्या बाबतीत काहीच बदल घडत नाही. पण

(२) " १ " दर्शक घटकातील उजव्या बाजूचे आधी off असलेले ट्रॅन्झिस्टर लगेच जुटतात, याचा अर्थ त्यांच्या ठिकाणचा " १ " पुसला जातो; तेथे " 0 " लिहिले जाते. त्याचबरोबर, त्या ट्रॅन्झिस्टरांना जोडलेल्या

(३) विलंबक सरणीतील डाव्या बाजूचे ट्रॅन्झिस्टरही जुटतात, व " 0 " दर्शक होतात, की ज्यामुळे विलंबकातील उजव्या बाजूचे ट्रॅन्झिस्टर " १ " दर्शक व्हावेत, पण हे चटकन घडत नाही; तर

(४) अशा स्थितीत नियोजित तेवढा अल्प काल जातो व मग मात्र

(५) पुढच्याच क्षणी ट्रॅन्झिस्टर जुटण्या-सुटण्याचे हे लोण विलंबक सरण्यांतील उजव्या बाजूचे ट्रॅन्झिस्टर–ते–पुढच्या फ्लिप्-फ्लॉप् घटकातील क्रमाने डाव्या व उजव्या बाजूच्या ट्रॅन्झिस्टरांपर्यंत येऊन पोचते.

(६) परिणामतः घडते ते असे की, " १ " हा अंक शेजारच्या विलंबक सरणीत काही काळ खोळंबवून धरला जातो व नंतर त्याचे स्थलांतर उजवीकडील लागून असलेल्या घटकात होते—तो एक घर उजवीकडे सरकवला जातो.

(७) " 0 " च्या स्थलांतराचा प्रश्नच उद्भवत नाही. कारण, ' अंक पुसणाऱ्या ' स्पंदामुळे सर्वच घटक शून्यदर्शक होतात, व ज्या कोठे आधीचा " १ " असेल व डावीकडचे " 0 " स्थलांतरित होऊन यावयाचे असेल तेथे स्थलांतराची क्रिया न घडली तरी " 0 " लिहिले गेलेले असतेच.

यामुळे साधले काय ते लक्षात आलेच असेल. आपली पाच-अंकी संख्या सुरुवातीस फ्लिप्–फ्लॉप् क्र. १ ते ५ यात सामावलेली होती. व क्र. १, ४, ५ हे फ्लिप्-फ्लॉप् " १ " चे निदर्शक होते. सरक (shift) प्रस्थापित झाल्यानंतर आपली संख्या क्र. २ ते ६ मध्ये सामावलेली आहे, क्र. २, ५, ६ हे " १ " चे निदर्शक तर क्र. ३, ४ हे " 0 " चे निदर्शक झाले आहेत व क्र. १ चा फ्लिप्-फ्लॉप् मोकळा झाला आहे. उपरोक्त स्पंदासारखे आणखी स्पंद लागोपाठ पुरवले तर प्रस्तुत (किंवा कोणचीही) संख्या अशा सरक सरणीतून (shift register मधून) पूर्णतया बाहेर ढकलता येते.

अंकगणितात कराव्या लागणाऱ्या प्रायः सर्व गणिती कृती विजेच्या साह्याने (अर्थात् नियोजित वीजवर्चसे व त्यामुळे वाहणारे किंवा न वाहणारे वीजप्रवाह यांच्या साह्याने) कशा पार पडतात हे आपण येथवर पाहिले. स्थूलमानाने म्हणावयाचे झाल्यास हे सर्व कार्य संगणकाच्या ' अंकगणित विभागात ' (Arithmetic Unit मध्ये) होते. संगणकाच्या वेगवेगळ्या विभागांचा किंवा उपांगांचा विचार करता या विभागाचे कार्य

सर्वाधिक कुतूहलाचा विषय ठरते. साहजिकच त्याच्या विवेचनास बरीच प्रकरणे लागली. आता या विभागाशी निकट संबंध असणाऱ्या व तितक्याच महत्त्वाच्या अशा 'स्मृति' विभागाची माहिती पुढील प्रकरणात दिली आहे.

प्रकरण : १३

संगणकाचा स्मृतिसंग्रह

कर्षुकशील फेराइट्च्या कड्यांचा त्रिमित संग्रह; संख्यांच्या व सूचनांच्या मांडणीची संग्रहातील व्यवस्था.

कर्षुकशील टेपवर, ड्रमवर, तबकडीवर नोंदले जाणारे माहिती-संग्रह

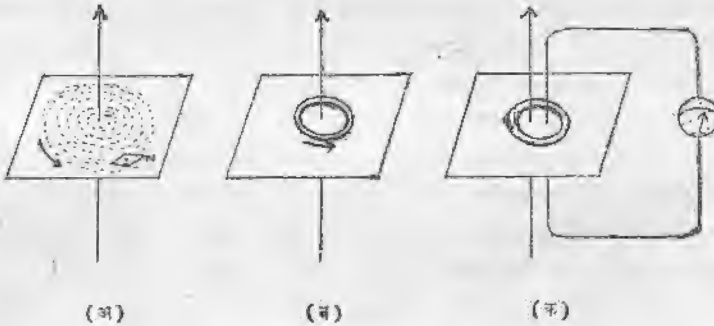
अल्पकालिक संग्रह (Volatile Memory).

प्रकरण २ मध्ये संगणकाच्या रचनेचा व कार्यपद्धतीचा आराखडा सांगताना, घातलेले गणित व ते सोडविण्याची रीती याविषयीची संचालक व्यक्तीने पुरविलेली माहिती, संगणक ' लिहून कशी घेतो ? ' किंवा ' लक्षात कशी ठेवतो ! ' याचा त्रोटक खुलासा करताना या स्मृतिसंग्रह विभागाचा उल्लेख केलेला वाचकांना आठवत असेल. हा विभाग म्हणजे संगणकाचे एक महत्त्वाचे उपांग आहे. त्याला ' स्मरण विभाग ', ' स्मृतिभांडार ' अर्थात् उपयुक्त ' माहितीचा संग्रह ' असे म्हणता येईल. इंग्रजीत त्याला Memory, Store असे संबोधतात. या प्रकरणात या उपांगाची माहिती विस्ताराने मिळवू.

फ्लिप्-फ्लॉप् मालिकांच्या बनलेल्या रजिस्टर्स मध्ये संख्या (अर्थात् अंकात्मक उपयुक्त माहिती) ' मांडता ' येते व ' पुसून टाकीपर्यंत ' ती असेल तशी राहते हे आपण पाहिले. पण ही मांडणी अगदी मर्यादित स्वरूपाची, म्हणजे आकडेमोडीचे काम भागविण्यापुरती असते. ज्या संख्यांवर कोणती ना कोणती गणिती कृती लगेच व्हावयाची असते, तेवढयाच संख्या उपरोक्त रजिस्टरांवर अधिष्ठित होऊन अंकगणित विभागात उतरतात असे म्हणता येते. याच्या उलट, मूळच्या गणितातल्या अनेकानेक संख्या व त्या संख्यांवर कोणत्या गणिती कृती कोणत्या क्रमाने करावयाच्या यासंबंधीच्या सविस्तर सूचना या, ते गणित संगणकाच्या सुपुर्द होताना जिथे ' मांडल्या ' किंवा ' लिहिल्या ' जातात ते स्मृतिभांडार रजिस्टर-मालिकांच्यापेक्षा फार मोठया व्याप्तीचे असते. तात्कालिक स्वरूपाच्या एका उदाहरणाच्या संख्या व सूचना लिहिलेल्या ठेवणे एवढेच या भांडाराचे काम असते असेही नाही; तर अनेक वेगवेगळया विषयांच्या ज्या समस्या, अशा संगणकाच्या साह्याने सोडविल्या गेलेल्या असतात, (किंवा सोडविल्या जावयाच्या असतात,) त्यांच्याबद्दलची सर्व आवश्यक माहिती–तिला अंकात्मक रूप देऊन– व ती जरूर लागताच पुन्हा उपलब्ध व्हावी अशी योजना करून, या भांडारात संग्रहित केलेली असते !

कोणत्याही माहितीला अंकात्मक रूप देणे कसे शक्य आहे याची कल्पना वाचकांना एव्हाना आली असणार. संबंधित माहितीचे, ज्ञानाचे जरूर तेवढे विश्लेषण करून मिळणारा संबंधित ज्ञानकण विचारात घेतल्यास, त्याचे जे लक्षण अभिप्रेत असेल ते लक्षण त्या ज्ञानकणात ' आहे ' का ' नाही ' हे दोनच पर्याय संभवतात. मग जो पर्याय लागू असेल त्याचा दर्शक अंक (" o " किंवा " १ ") उपयोजून त्या ज्ञानकणाची त्या लक्षणापुरती अंकात्मकता पूर्ण होते. मूळ माहितीच्या वेगवेगळ्या विश्लेषित स्वरूपांना व त्यांच्या विविध लक्षणांना विशिष्ट अंकांनी संबोधणे याविषयीचे संकेत तर केव्हाही बसवता येतात. अंती, हे असंख्य द्विमान अंक योग्य क्रमाने व रीतीने भांडारामध्ये संग्रहित करणे येवढेच काम या बाबतीत मग उरते. आता याकरता, कोणत्यातरी द्विस्थिति पदार्थांची— ज्या पदार्थांना एकंदर दोनच स्थिर स्थिती असून तो त्यांपैकी एकीत असतो व अल्प चेतनेने दुसरीत जातो अशा पदार्थांची—योजना स्मृतिभांडारात करावी लागावी हे उघड आहे. असा सोयीचा एक पदार्थ विद्युत्-कर्षुक (Electro-magnet) हा आहे. भांडारात अंकांच्या संग्रहाकरता याचा उपयोग विविध प्रकारे केलेला असतो.

बीजप्रवाह व कर्षुकता यांचे संबंध. बीजप्रवाह व कर्षुकता (लोह-कर्षुकता, magnetism) अर्थात् कर्षुकतेचे क्षेत्र यांचे परस्परसंबंध आज सुमारे दीडशे वर्षे ज्ञात आहेत. या गोष्टी परस्परांना निर्माण करणाऱ्या आहेत, तसेच त्यांच्या दिशा परस्परावलंबी असतात, बीजप्रवाहाची दिशा व कर्षुक क्षेत्राचे प्रतल ही एकमेकांस काटकोनात असतात, ही परिचित सत्ये आहेत. आकृती १३·१ पहावी. आकृतीतील कागदामधून जाणाऱ्या



आकृती १३·१ **बीजप्रवाह व कर्षुकता यांचे परस्पर-संबंध.**

(अ) बीजप्रवाहामुळे निर्माण होणारे कर्षुकक्षेत्र व त्याची दिशा; (ब) पोलादाच्या कड्यामध्ये कर्षुकत्वाचा संचार; (क) कर्षुक-क्षेत्रात प्रवर्तित होणारा बीजप्रवाह.

तारेतून बीजप्रवाह खालून वर गेला, तर तारेभोवती, येथे दर्शविल्याप्रमाणे कर्षुकक्षेत्र निर्माण होते. कागदावर लोखंडाचे सूक्ष्म कण पसरून बीज वाहू लागताच कागदावर टिचकी

मारली तर आकृतीतल्याप्रमाणे त्या कणांच्या रांगोळीची वर्तुळे निघतात. ही वर्तुळे क्षेत्राचे अस्तित्व व त्याच्या बलरेषा दर्शवितात. त्या क्षेत्रात एखादी लहान कर्षुक-सुई (magnetic needle) ठेवून क्षेत्राची दिशाही काढता येईल. एरवी जवळजवळ पृथ्वीच्या दक्षिण-उत्तर दिशांकडे अग्रे रोखणारी सुई, उपरोक्त तारेतून वीज वाहू लागताच बल-रेषांशी समांतर होईल व तिचे उत्तर अग्र (north pole) अपसव्य दिशेत म्हणजे घड्याळाच्या काट्यांच्या गतीच्या उलट दिशेत पुढे राहील. (आकृती १३·१ अ). आता या प्रयोगात लोखंडाच्या कणांऐवजी पोलादाचे किंवा तत्सम पदार्थांचे एखादे अखंड कडेच वीजवाहक तारेभोवती आकृती १३·१ (ब) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे ठेवले व तारेतून पुरेसा जोरदार प्रवाह सोडला, तर त्या कड्यामध्ये कर्षुकता निर्माण होईल! व कडे साध्या लोखंडाचे (soft iron चे) नसून पोलादाचे असल्यामुळे, प्रवाह बंद झाल्याबरही ती टिकून राहील! [वरील प्रयोगात, तारेतून वीज उलट दिशेने वाहावी अशी योजना केली तरीही लोहकणांमध्ये, तसेच कड्यामध्ये कर्षुकता निर्माण होईल, पण तिची दिशा उलट म्हणजे सव्य—घड्याळाच्या काट्यांच्या गतीच्या दिशेसमान—असेल.]

या प्रयोगाचा आणखी एक टप्पा आता पूर्ण करायचा, तो म्हणजे, वीजवाहक तारेशेजारी दुसरी एक तार नुसतीच ठेवली तर तिच्यावर काय परिणाम होतो ते पाहायचे. वीजप्रवाह व कर्षुकता हे परस्परांची निर्मिती करणारे आहेत हे वरती सांगितलेच आहे. त्या सिद्धांतान्वये मूळच्या तारेतील प्रवाहामुळे तिच्याभोवती कर्षुकक्षेत्र निर्माण होईल आणि त्या क्षेत्राचे धारण/रक्षण करणारे कडे भोवती असल्याने, (म्हणजेच थोडक्यात, त्या कड्याच्या कर्षुक क्षेत्रामुळे) या दुसऱ्या तारेत वीजप्रवाह निर्माण होईल, प्रवर्तित होईल! (आकृती १३·१ (क)). ही शेजारची तार म्हणजे मग एक संवेदी तार (Sense Wire) ठरते, कारण तिच्याशेजारी घडणाऱ्या स्थित्यंतराची संवेदना तिला घडते व ती संवेदना तिच्यातून योग्य तेथे कळविली जाऊ शकते.

प्रस्तुत विषयासंबंधीचा मूळ सिद्धांत व त्यावर आधारित अशा वरील प्राथमिक प्रयोगाचा तपशील वाचल्यावर, या योजनेचा उपयोग स्मृतिसंग्रहाकरिता कसा केला जात असेल याची काही कल्पना चाणाक्ष वाचकांना आली असेल. पुढील परिच्छेदांत ती कल्पना आणखी स्पष्ट केली आहे व योजनेचा तपशील नंतर सांगितला आहे.

वीजवाहक तारा व सव्य किंवा अपसव्य दिशेतील कर्षुकत्व प्राप्त होऊ शकणारी कडीं यांचा एक विस्तृत त्रिमित पिंजरा किंवा सांगाडा सिद्ध केला, तर त्याच्या साह्याने खालील गोष्टी साधता येतील :—(आकृत्या १३·२, १३·३, १३·४ पाहाव्यात.)

(अ) संगणकाला घातलेल्या गणितातील अनेकानेक संख्या व त्यांवर करावयाच्या गणिती कृतीसंबंधीच्या सूचना (या सूचनाही 0, १ या अंकांनीच व्यक्त झालेल्या असणार, त्या) टिपून घेण्याकरता, उपरोक्त पिंजऱ्यातील नियोजित तारांत ओवलेली कडीं, त्या संख्यांमधील 0, १ या अंकांच्या क्रमानुसार अपसव्य, सव्य दिशांनी कर्षुकित करता येतील. याकरिता पिंजऱ्यातील योग्य तारांतून योग्य दिशांनी वीजस्पंद सोडावे

लागतील. या कृतीने **संख्यांचे लेखन पार पडेल.**

(ब) ज्या तारेतून बीजस्पंद सोडल्याने विशिष्ट कड्यात विशिष्ट दिशेतले कर्षुकत्व निर्माण झाले असेल, त्याच तारेतून त्याच दिशेने तसाच स्पंद पुनः सोडल्यास तारेभोवतीच्या कर्षुकक्षेत्राच्या दृष्टीने काहीच नवीन घडणार नाही, कड्याची स्थिति बदलणार नाही व मुख्य म्हणजे, शेजारच्या **संवेदी तारेतून शून्य बीजस्पंद वाहेल.** पण, उलट दिशेने कर्षुकित झालेल्या कड्यातून वरीलसारखा बीजप्रवाह सोडल्यास कड्याच्या कर्षुकत्वाची दिशा तर बदलेलच पण **संवेदी तारेतून हमखास स्पंद वाहेल.** व हे दोन परस्परविरुद्ध परिणाम कड्यांवर (जणु) लिहिल्या गेलेल्या "0" व "१" या अंकांचे निदर्शक समजता येतील. अशा तऱ्हेने संग्रहातील कड्यांवर 'लिहिलेल्या' अंकाचे, पर्यायाने **संख्यांचे, वाचन पार पडेल.**

(क) संवेदी तारा अंकगणित विभागातील योग्य त्या फ्लिप्-फ्लॉप् मालिकांना जोडून, संग्रहात लिहिलेल्या संख्या त्या फ्लिप्-फ्लॉप् मालिकांवर उतरवून—मांडून—घेता येतील. किंबहुना संख्या 'वाचली जाणे' याच अर्थ ती अंकगणित विभागात वा इतरत्र याप्रमाणे 'हलविली जाणे' हाच होय. आता या योजनेच्या तपशिलातील महत्त्वाच्या बाबी खाली सांगितल्या आहेत. *

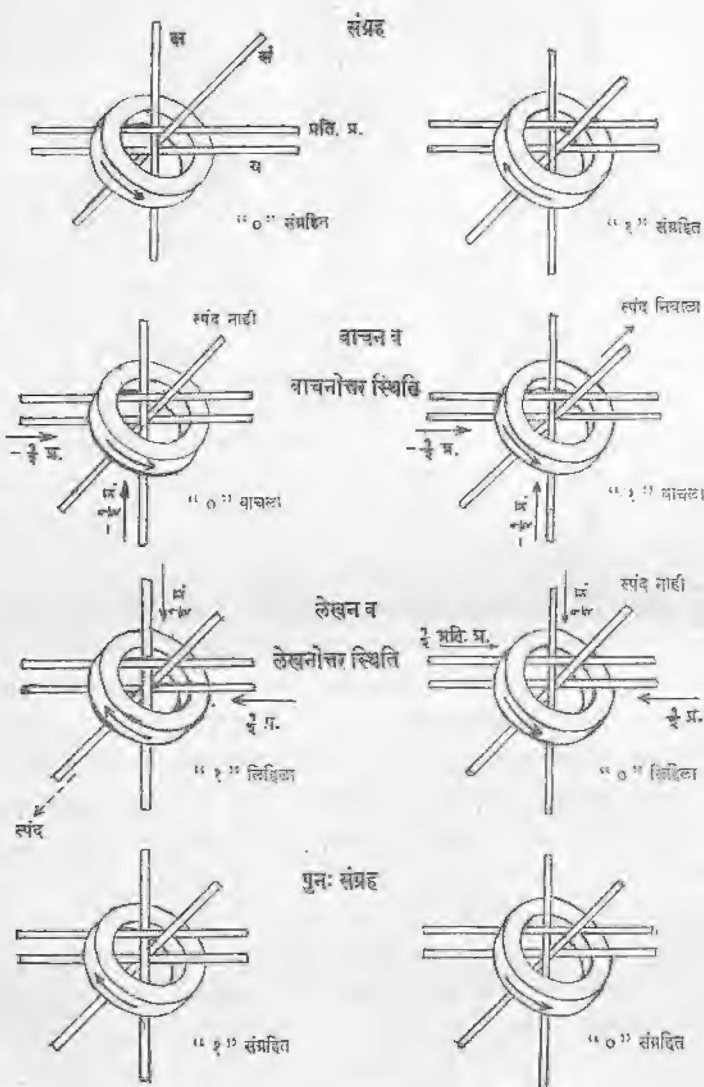
[कर्षुकशील फेराइट् कड्यांच्या उपयोगावर आधारित स्मृतिसंग्रह (Ferrite Core Memory)

(अ) या रचनेत वर उल्लेखिलेल्या पोलादाच्या कड्यांऐवजी, 'फेराइट्' नावाचा लोहभस्माचा एक कर्षुकशील प्रकार असतो त्याची बनविलेली अत्यंत लहान आकाराची कडीं (वलये, rings) वापरतात. पृ. ६७ च्या समोरील आकृती १३·१·१ पहावी.

(आ) बीजवाहक तारांवर कडीं आपापल्या जागेवर रहावीत याकरता तीं एका तारेऐवजी आडव्या–उभ्या अशा दोन तारांच्या फुलीत ओवतात; जणु सूक्ष्म तारेच्या विणलेल्या जाळीच्या प्रत्येक सांध्यावर किंवा फुलीवर एक एक कडे अडकवलेले असते, (आकृती १३·३). जाळीतील उभ्या तसेच आडव्या तारांची संख्या प्रत्येकी ६४, १२८, इ. २ चा आवश्यक तो घात असते, अर्थात् त्या संख्येच्या वर्गाइतकी कडीं वापरावी लागतात. उदा. उभ्या व आडव्या तारा प्रत्येकी ६४ असल्यास त्यांच्या $६४^२ = ४०९६$ फुल्यांवर तितकीं कडीं बसवावी लागतील. अशा जाळीच्या पड्याला Matrix हे इंग्रजी नाव आहे. एकेका कड्याच्या कर्षुकतेचे संचालन व तिचा उपयोग कसा होतो हे आकृती १३·२ वरून कळेल.

---

* पुढे परिच्छेद (अ) ते परिच्छेद (ऐ) अखेर चौकटी कंसात दिलेला स्मृतिसंग्रहाच्या रचनेचा तपशील, वाचकांनी पुस्तकाच्या पहिल्या वाचनाचे वेळी जरूर तर सोडावा. दुसऱ्या वाचनाचे वेळी मात्र तो अभ्यासणे आवश्यक आहे.



आकृती १३·२ कर्षकशील फेराइट् वलये (कडीं) विजेच्या तारांत ओवून रचलेल्या स्मृति-संग्रहाचे संचालन.

आकृतीच्या अनुषंगाने खुलासा पुढील पानावर—

क्ष, य या तारांतून योग्य दिशांनी अर्ध-परिणामी वीजप्रवाह ($\frac{1}{2}$ प्र.) सोडून कड्यांवर इष्ट अंकांचे ' लेखन, ' तसेच उलट दिशांनी तसलेच प्रवाह सोडून लिखित अंकांचे 'वाचन' घडविले जाते. वाचन हे तिरप्या ओवलेल्या सं अर्थात संवेदी तारेतून घडते. दुसऱ्या आडव्या तारेतून इष्ट तेव्हा पाठविलेला उलट दिशेतील प्रवाह लेखनास ' प्रतिबंध ' करून लेखन घडू देत नाही. या तारेला Inhibit Wire म्हणतात. येथे या प्रतिबंधक तारेला प्रति-प्रवाह (प्रति. प्र) तार असे संबोधिले आहे. डाव्या वरच्या कोपऱ्यातील चित्रात हीं नावे पाहावीत.

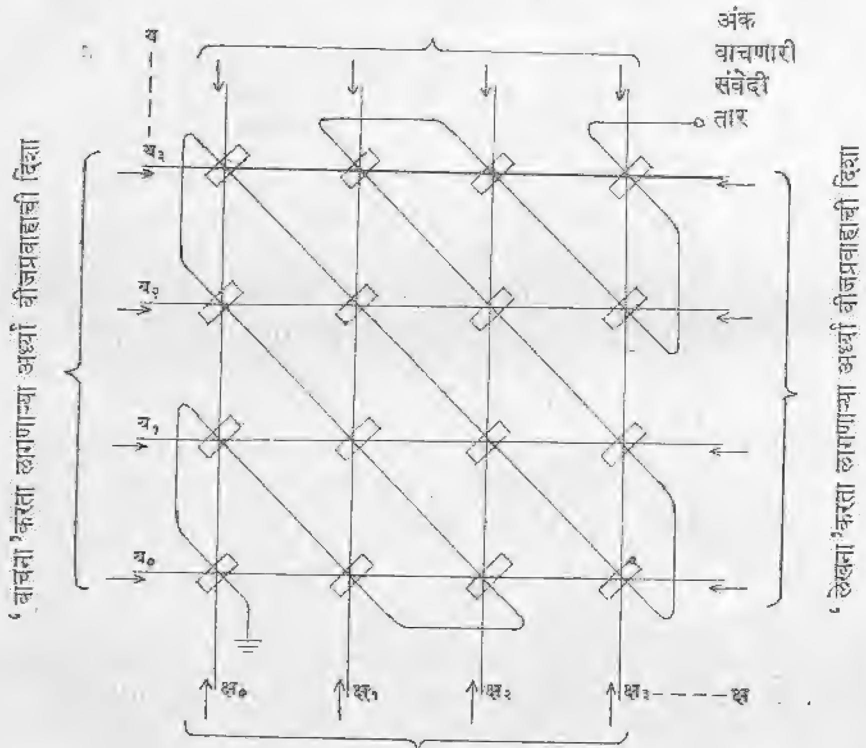
आकृतीतील पहिली ओळ–कड्यांची सुरुवातीची स्थिती : डावीकडचे कडे अपसव्य दिशेने कर्षुकित व संकेततः "0" धारण करणारे आहे; उजवीकडचे सव्य दिशेने कर्षुकित असलेले कडे ओघानेच " १ " धारण करणारे आहे.

दुसरी ओळ–धारित अंकांचे वाचन : क्ष य तारांतून बाणांनी दर्शविलेले वीजप्रवाह सोडल्याने डावीकडच्या कड्याच्या कर्षुकतेच्या स्थितीत बदल घडत नाही; यामुळे कड्यातून जाणाऱ्या संवेदी तारेतून वीजप्रवाह जात नाही–शून्यप्रवाह वाहतो; याचा अर्थ तेथे " 0 " असल्याचे वाचले जाते. याच्या उलट, या प्रवाहांनी उजवीकडची कड्याची स्थिती बदलते, ती " 0 " दर्शक होते, व कड्यातून ओवलेल्या संवेदी तारेतून त्याच वेळी बाणाच्या दिशेत वीज-स्पंद वाहतो; याचा अर्थ, त्या कड्यामध्ये " १ " संग्रहित होता, तो वाचला जातो. ज्या ज्या कड्यांमध्ये " १ " संग्रहित असेल त्यांमधून तो पुसून तीं कडीं, आणि पर्यायाने सर्व कडीं, " 0 " धारी (reset) करावयाची असतील, तर या ओळीत दर्शविल्याप्रमाणे वीजप्रवाह सोडावे लागतात.

तिसरी ओळ–अंकांचे लेखन : बाणांनी दर्शविल्याप्रमाणे वीजप्रवाह सोडताच डाव्या बाजूच्या कड्यातील कर्षुकतेची दिशा बदलते व तेथे " १ लिहिला जातो. (या वेळी संवेदी तारेतून डावीकडे खाली वीज-स्पंद वाहतो, पण हा स्पंद ' अंक वाचणारा ' स्पंद समजला जात नाही.) उजव्या बाजूच्या " 0 " धारी कड्यांतून, वरील लेखनकारी प्रवाहांच्या भरीला, ' प्रतिबंध 'कारी तारेतूनही वीजप्रवाह सोडतात. आडव्या तारांतील प्रवाह परस्पर-विरुद्ध दिशांचे असल्याने त्यांचा परिणाम शून्य होतो; एकट्या उभ्या तारेतील प्रवाह परिणामकारक नसतो; अर्थात कड्याची स्थिति आधी होती तशीच " 0 " दर्शक राहते.

चौथी ओळ–परिणामी स्थितीतील अंकांचा संग्रह : तिसऱ्या ओळीतील ' लेखन ' घडल्यानंतरची कड्यांची स्थिति असेल तशी कायम राहते.

(इ) कोणत्याही कड्यामध्ये कर्षुकत्व निर्माण करण्याकरता, किंवा असलेल्या कर्षुकत्वाची दिशा बदलण्याकरता लागणारा वीजप्रवाह, कड्यातून जाणाऱ्या उभ्या किंवा आडव्या एकट्या तारेतून न पाठविता प्रत्येकीतून अर्धा अर्धा म्हणजे अर्धा परिणाम घडविणारा असा पाठविला जातो, की ज्यामुळे पूर्ण प्रवाहाचा परिणाम त्या एकाच कड्यावर होतो. त्याच्या ओळीतल्या किंवा स्तंभातल्या इतर कड्यांवर अर्ध्या प्रवाहाचा फारसा परिणाम होत नाही.

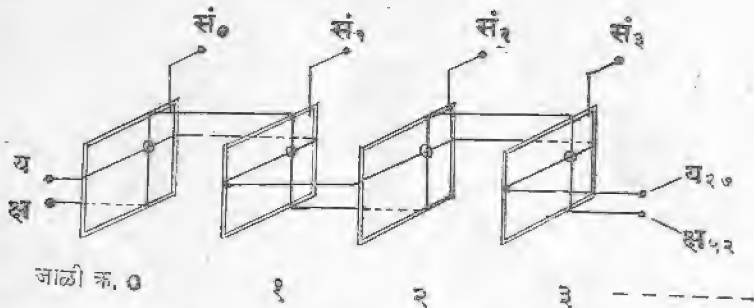


आकृती १३·३ **द्विमान अंकांच्या संग्रहाकरिता वीजवाहक तारांच्या जाळीत फेराइट्ची कडीं अडकवून केलेला जाळीचा पडदा** (matrix).

(ई) झालेल्या परिणामाची दखल घेणारी, म्हणजेच संबंधित कड्याची " 0 " किंवा " १ " यांपैकी असेल ती स्थिती ‘ वाचणारी ’ अशी संवेदी तार सर्व कड्यांमधून तिरपी नागमोड करीत ओवलेली असते. (आकृती १३·३ पहावी).

(उ) ‘ वाचना ’ बरोबरच ‘ लेखनाचा ’ म्हणजे विशिष्ट कडे “ 0 ” दर्शक असावें का “ १ ” दर्शक असावे याची कृती करण्याचा प्रश्न उद्भवतो. आकृती १३·२ व १३·३ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे बीजप्रवाह सोडून हे साध्य होते. ‘ वाचना ’ करता सोडावयाचे प्रवाह व ‘ लेखना ’ करता सोडावयाचे प्रवाह यांच्या दिशा परस्परविरुद्ध असतात; असणारच. वाचन वडविणाऱ्या अर्धप्रवाहांना संकेतानुसार ऋण चिन्ह (–) दिले आहे. कड्यावर संग्रहित (stored) असलेला अंक बदलून दुसरा लिहिण्याकरता कोणत्या कृती कराव्या लागतात ते आकृती १३·२ मधील चित्रे व त्यांखालील माहिती यावरून स्पष्ट होते. एखाद्या कड्यावरील “ १ ” पुसून तेथे “ 0 ” लिहायचे असल्यास त्या “ १ ” चे वाचन वडविणे ही कृती आवश्यक ठरते ! पण याचा अर्थ असा होतो की ‘ वाचन ’ हे पुरावा नष्ट करणारे आहे ! कारण एखादी संख्या नुसती वाचतानाच तिच्यातील सगळे “ १ ” अंक याप्रमाणे पुसले जाऊन फक्त शून्यमालिका उरते ! पण त्या संख्येची बहुधा पुनः जरुरी लागणार असतेच. तेव्हा, ही अनिष्ट गोष्ट टाळण्याकरता अशी योजना केलेली असते, की वाचलेल्या (अर्थात् पुसल्या गेलेल्या) संख्येचे ताबडतोब पुनर्लेखन व्हावे.

(ऊ) कोणतीही संख्या एकाच उभ्या (किंवा आडव्या) तारेवरच्या कड्यांवर लिहिलेली नसते. कारण, मग ती वाचण्याकरता, ती तार व तिला काटकोनात असलेल्या सर्व तारांतून दर अंकागणिक एकदा असे बीजप्रवाह क्रमशः पाठवावे लागले असते, व यात फार वेळ फुकट गेला असता. या अडचणीचे निवारण पुढीलप्रमाणे केले जाते :—जितक्या अंकांची संख्या संग्रहित करायची असेल तितक्या जाळ्या, त्यांची प्रतले ठीक एकापुढे एक व समांतर येतील अशा बेताने शेजारी शेजारी बसवून एक त्रिमित पिंजरा (stack) सिद्ध केलेला असतो. पिंजऱ्यातील जाळ्या इतक्या रेखीवपणे बसविलेल्या असतात, की सर्व जाळ्यांतील त्या त्या विशिष्ट आडव्या-उभ्या तारांचे संगम ठीक एका रेषेत असतात व या रेषा जाळ्यांना काटकोनात असतात. अशा एकेका रेषेत येणाऱ्या फेराइट् कड्यांवर संग्राह्य संख्येचे अंक लिहिले जातात. शेजार-शेजारच्या जाळ्यात नियोजित अंतर ठेवलेले असते. जाळ्यांच्या आडव्या तारांना, समजा य$_{०}$, य$_{१}$, य$_{२}$....य$_{६३}$ (किंवा य$_{१२७}$ वगैरे) व उभ्या तारांना क्ष$_{०}$, क्ष$_{१}$, क्ष$_{२}$....क्ष$_{६३}$.... याप्रमाणे क्रमांक दिले, तर तारांच्या संगमांचे व त्या संगमांतून (कुल्यांतून) जाणाऱ्या वरील रेषांचे क्रमांक उदा. क्ष$_{५२}$ य$_{२७}$ असे ठरतात. रेषेचा हा क्रमांक म्हणजे तिचे, अर्थात् तिच्यावरील संख्येचे उपरोक्त त्रिमित रचनेतील ठिकाण (location) सांगणारा पत्ता (Address) ठरतो; आकृती १३·४ पाहावी. तेथे आणखी असे आढळेल की, (उदाहरणाकरिता घेतलेली) क्ष$_{५२}$ ही उभी तार एकच सलग तार असून शेजार–शेजारच्या जाळ्यातून, ती खालून वर, वरून खाली अशी ओवलेली आहे. य$_{२७}$ या आडव्या तारेचेही तसेच आहे. तीही एक सलग तार असून शेजार-शेजारच्या जाळ्यातून पुढून मागे, मागून पुढे अशी ओवलेली आहे. वस्तुतः सर्वच आडव्या-उभ्या य व क्ष तारा



आकृती १३·४ **फेराइट् स्मृतिसंग्रहातील जाळ्या; त्यांतून सलग ओवलेल्या आडव्या-उभ्या (य, क्ष) तारा व प्रत्येक जाळीची वेगळी संवेदी तार सं०, सं१, सं२ इ.**

याचप्रमाणे सलग व सर्व जाळ्यातून ओवलेल्या असतात! (आकृतीत गर्दी होऊ नये म्हणून या तारा, तसेच जाळीच्या विणकामातील इतर तारा, कडीं दाखविलेलीं नाहीत.) जाळीतील संवेदी तार—जी तिरपी ओवलेली असते असे वर सांगितले आहे—ती मात्र प्रत्येक जाळीची वेगवेगळी असते. आकृती १३·४ मध्ये प्रत्येक जाळीतील संवेदी तारेचे फक्त टोक बाहेर निघालेले दाखविले आहे.

या वर्णनावरून निष्कर्ष असा निघतो की, या त्रिमित रचनेच्या बाहेरून तिच्यातील विशिष्ट उभी व विशिष्ट आडवी या एकेकट्या तारांतून योग्य वीजप्रवाह सोडताच, सर्व जाळ्यांतील (सर्व matrixes मधील) त्या दोन तारांच्या संगमांवर बसविलेली व एका रेषेत येणारी सर्व फेराइट् कडीं प्रभावित होतील! आता, हे प्रवाह ' वाचन ' घडविणारे असले तर त्या त्या जाळीतील संवेदी तारेद्वारां ते ते कडे वाचले जाईल. परिणामतः असे घडेल की स्मृतिभांडारातील त्या विशिष्ट ' पत्त्यावर ' असलेली संख्या वाचली जाईल. ' पण याचाही अर्थ असा की ती संख्या तेथून बाहेर काढून अंकगणित विभागातील योग्य त्या फ्लिप्-फ्लॉप् रजिस्टरवर उतरविली जाईल व तिच्यावर व्हावयाची ती गणिती कृती सुरू होऊ शकेल. संवेदी तारांची टोके योग्य त्या फ्लिप्-फ्लॉप् मालिकेला जोडलेली असतात.

हे झाले संख्यावाचनाचे. संख्यालेखन कसे घडविले जात असेल याचा काही बोध आकृती १३·२ सोबत दिलेल्या माहितीवरून होईल. लेखन घडविणारे अर्धे अर्धे वीज-प्रवाह संबंधित य, क्ष तारांतून सोडले, तर त्यांच्या प्रत्येक संगमावरील कड्यावर " १ " लिहिला जाईल; व परिणामतः संबंधित पत्त्यावर १, १, १, १.... ही संख्या लिहिली जाईल. पण संख्येतले सर्व अंक १, १, १, १.... असे क्वचित्‌च असतात. कोणत्याही संख्येत बहुधा शून्ये असणारच. मग ती शून्ये या त्रिमित रचनेतील योग्य ठिकाणच्या

कड्यांवर कशी लिहायची असा प्रश्न उद्‌भवतो. या प्रश्नाची सोडवणूक पुढीलप्रमाणे केली जाते :— ज्या कड्यांवर " ० " लिहायचे असते, अशी कडीं ज्या ज्या जाळ्यांत बसविलेली असतील, त्या त्या जाळ्यांतून, य, क्ष तारांतून पाठविल्या जाणाऱ्या प्रवाहां-बरोबरच दुसरा एक ' प्रतिबंधक ' (Inhibit) प्रवाह पाठविला जातो. हा प्रवाह त्याच्या नावाप्रमाणे लेखनाला प्रतिबंध करणारा असतो. (आणि लेखनाला याचा अर्थ " १ " या अंकाच्या लेखनाला असाच होतो, कारण, एरवी शून्ये सर्वत्र लिहिलेली असतातच.) प्रतिबंधक प्रवाह नेणारी तार प्रत्येक जाळीची वेगवेगळी असते, जाळीच्या प्रत्येक कड्यातून ओवलेली असते, व ती आडव्या य तारेला समांतर असते, आणि फक्त " ० " लिहावयाच्या वेळी तिच्यातून वीजप्रवाह सोडतात, की ज्याची दिशा य तारेतून वाहणाऱ्या प्रवाहाच्या उलट असते. यामुळे अर्थातच या दोन वीजप्रवाहांची वजावट होते आणि उभ्या तारेतून त्याच क्षणी प्रवाह–अर्थात अर्धपरिणामी प्रवाह– वाहत असला तरी " १ " लिहिला जाऊ शकत नाही व आधी " ० " लिहिलेले असते तेच कायम होते, किंवा दुसऱ्या शब्दात, " ० " निश्चितपणे लिहिले जाते.

संवेदी तारेप्रमाणे प्रतिबंधकारी तारसुद्धा एकेका जाळीपुरती एकेक असते व जाळीतील कड्यांच्या ओळींतून, एका ओळीत डावीकडून उजवीकडे तर तिच्या शेजारच्या ओळीत उजवीकडून डावीकडे अशी नागमोडी ओवलेली असते. आकृती १३·४ मध्ये ती दाखविलेली नाही.

(ए) **त्रिमित संग्रहातील जाळ्यांची (matrixesची) व त्यावरील पत्त्यांची संख्या.** प्रत्येक जाळीत आडव्या-उभ्या तारा किती असतात, याचा उल्लेख वर (आ) मध्ये आला आहे. पण त्या अमुक इतक्याच का असतात किंवा असाव्यात हे समजले नाही. त्याचा विचार पुढे करावयाचा आहे. त्याआधी, प्रस्तुत त्रिमित संग्रहाच्या रचनेत एकंदर जाळ्या किती असतात ते पाहू. जाळ्यांची संख्या तसे पाहता ऐच्छिक असते. संग्रहात जितक्या जाळ्या असतील तितक्या अंकांची (अर्थात द्विमान अंकांची) संख्या त्या संग्रहात मावेल हे सहज लक्षात येणारे आहे. तेव्हा, मोठ्यात मोठ्या किती-अंकी संख्येचे गणित संगणकाला सोडविता यावे, याविषयीची संगणक-निर्मात्याची जी योजना असते, तीनुसार जाळ्यांची संख्या ठरते. उदाहरणादाखल असे समजू की, दहा-दशमान-अंकी मोठ्यात मोठी संख्या ही आपल्या संगणकाच्या क्षमतेची मर्यादा आहे. अर्थात् ९ अब्ज, ९९ कोटी, ९९ लक्ष, ९९ हजार ९९९ ही ती संख्या ठरते व ती उदाहरणाच्या दृष्टीने पुरेशी मोठी आहे.

आता, दशमान संख्यांचे शुद्ध द्विमान रूपात परिवर्तन करावे न लागता, त्या केवळ द्विमानांकित करून (म्हणजे BCD स्वरूपात) मांडलेल्या चालतात, व यामुळे त्यावरील अंकगणिती क्रियाही सुलभतेने होऊ शकतात हे आपण प्रकरण ५ मध्ये पाहिले. तसेच, हे करताना दर दशमान अंकाला चार द्विमान अंक असा अंकविस्तार होतो, हेही अनेकदा वाचल्याचे आठवत असेल. तेव्हा येथे उपरोक्त मोठ्या संख्येकरता

१०×४ = ४० द्विमानांक लागतील व ते मांडण्याकरता ४० स्थाने लागतील, हे ओघानेच येते, ही चाळीस स्थाने निव्वळ संख्येचे मूल्य मांडण्याकरता लागतात. आणखी दोन स्थानांची या कामी आवश्यकता असते. म्हणजे एकंदर ४२ स्थाने या कामी लागतात. संख्येच्या लगतचे डावीकडचे स्थान संख्येचे चिन्ह (+ किंवा – जे असेल ते) दर्शविण्याकरता लागते. या चिन्हाबद्दलही 0 किंवा १ हे अंक ठरलेल्या संकेतानुरूप मांडले जातात. सर्वात डावीकडचे (प्रस्तुत उदाहरणातील एकंदर ४२ स्थानांपैकी पहिले) स्थान हे, संख्येतील अंकांच्या मांडणीत काही चूकभूल झाल्यास ती निदर्शनास आणणारे असते. त्या स्थानीही " 0 " किंवा " १ " यांपैकी योग्य तो अंकच मांडायचा असतो. त्याला ' समानीकरणाचा अंक ' (Parity Digit) असे म्हणतात. त्याविषयी थोडक्यात माहिती अशी :—विशिष्ट संख्या व्यक्त करणाऱ्या, वरील ४०–४१ द्विमानांकांच्या मालिकेसारख्या लांब मालिकेला संगणक-विज्ञानात ' शब्द ' असे म्हणतात. (हे मागे प्रकरण ३ च्या शेवटी सांगितले आहे.) हे शब्द संग्रहात नियोजित पत्त्यावर लिहिले जातात, व अंकगणित विभागात गणित सुटण्याची क्रिया चालू असताना, त्या त्या शब्दाची जरूर लागताच तो त्या विभागात हलविला जातो. सुरुवातीस हे शब्द संग्रहात लिहिले जात असताना, किंवा त्यांची अशी हलवाहलव होत असताना, कोणत्याही शब्दाच्या कोणत्याही अंकाबाबत घोटाळा होऊन चालणार नाही, म्हणजे " 0 " च्या जागी " १ " अथवा " १ " च्या जागी " 0 " लिहिले जाऊन चालणार नाही, हे उघड आहे. आता, प्रत्येक शब्दाच्या बाबतीत याकरिताची तपासणी पुनः पुनः घडविणे अशक्य आहे. पण निदान एक गोष्ट शक्य होते, ती म्हणजे, संबंधित संख्येमध्ये "१" हा अंक सम वेळा येतो का विषम वेळा येतो याची दखल घेतली जाऊ शकते. याचा अर्थ, ती संख्या व्यक्त करताना जे एकंदर बीजस्पंद लागतात ते सम लागतात का विषम लागतात याची मोजणी, स्पंदांचे प्रेषण चालू असतानाच होते. पुढे, स्पंदांचा आकडा सम असल्यास संकेतानुसार त्यात आणखी एका स्पंदाची भर टाकून तो विषम केला जातो. या स्पंदाने व्यक्त होणारा " १ " चा अंक उपरोक्त मालिकेच्या डाव्या टोकाला मांडला जातो असे समजता येते, मात्र या " १ " चा त्या संख्यादर्शक ४० अंकांशी प्रत्यक्ष काहीही संबंध नसतो. स्पंदांचा आकडा मुळातच विषम असला, तर जादा स्पंद पाठविला जात नाही; त्याऐवजी ' बंद ' पाठविला जातो असे वाटल्यास म्हणावे. अंकमालिकेच्या मांडणीच्या दृष्टीने यामुळे मालिकेच्या डाव्या टोकाला " 0 " मांडले गेल्याचे समजता येते.

या विशेष कृतीने साधले जाते ते असे की, गणितातील कोणतीही संख्या व्यक्त करण्याकरता " १ " हा अंक, म्हणजेच बीजस्पंद, हे विषम वेळा वापरले जातात व अशा रीतीने सर्व संख्यांच्या बाबतीत एक तऱ्हेचा सारखेपणा आणला जातो, ' समानीकरण ' साधले जाते. कोणत्याही संख्येतील कोणत्याही अंकाच्या बाबतीत काही घोटाळा झाल्यास या सारखेपणात भंग होतो व चूक निदर्शनास येते. समानीकरणास Parity व

ते साधणाऱ्या डाव्या टोकाच्या अंकास Parity Digit म्हणतात. पुढील उदाहरणाने या कृतीचा व तिच्या साद्धयाचा खुलासा होईल— ९७१ (म्हणजे + ९७१) व –२३४ या संख्यांची द्विमानांकित मांडणी खालीलप्रमाणे होईल: (+ चिन्हाकरता " १ " व – चिन्हाकरता " 0 " असा चिन्हदर्शक संकेत असल्याचे येथे समजू.)

संख्या	समानीकरण अंक	+	९	७	१
९७१	0	१	१00१	0१११	000१
		–	२	३	४
–२३४	१	0	00१0	00११	0१00

दोनपैकी वरच्या संख्येत १ हा अंक, चिन्हाकरता एकदा आल्याचे धरून, एकंदर ७ वेळा म्हणजे विषम वेळा आला असल्याने समानीकरण अंकाच्या (parity digit च्या) जागी 0 मांडले जाते, त्या स्थानाकरता जादा स्पंद पाठविला जात नाही; तर खालच्या संख्येच्या बाबतीत संख्या व तिचे चिन्ह याकरता एकंदर ४ स्पंद लागत असल्याने आणखी एक स्पंद पाठवून स्पंदांचा आकडा विषम केला जातो व या जादा स्पंदांचा निदर्शक " १ " समानीकरणाच्या स्थानी मांडला जातो.

वरील माहितीचा इत्यर्थ हा, की (उदाहरणादाखल घेतलेल्या) प्रस्तुतच्या स्मृतिसंग्रहात,

* एकंदर ४२ जाळ्या (matrices) असतील, त्यामुळे यात
* ४२-द्विमान-अंकी शब्द मावतील,
* एका शब्दामध्ये दहा-दशमान-अंकी संख्येचा अंतर्भाव होऊ शकेल,
* अशा ६४ × ६४ = ४0९६ शब्दांची धारणा येथे होऊ शकेल, व
* सुट्या द्विमानांकांचा (Bits चा, 0 किंवा १ या अंकांचा) विचार केल्यास, संग्रहातील ४२ × ४0९६ = १,७२,0३२ कड्यांवर तितके द्विमानांक अधिष्ठित होऊ शकतील. संग्रहाच्या धारणक्षमतेचे हे अगदी रेखीव मोजमाप झाले !

(ऐ) गणित सोडविण्यासंबंधीच्या सूचना स्मृतिसंग्रहात कशा टिपून घेतल्या जातात. संग्रहामध्ये संख्या धारण करणारे शब्द कोणत्या स्वरूपात उतरून घेतले जातात व जरूरीप्रमाणे वाचले, हलविले जातात हे येथवर पाहिले. या अनेक संख्यांवर त्यांच्या परस्परसंबंधानुसार कोणत्या गणिती कृती घडावयाच्या असतात, यासंबंधीच्या, प्राज्ञापकाने (Programmer ने) दिलेल्या सूचनाही संग्रहातच उतरून घेतल्या जातात व त्यांची यथाक्रम अंमलबजावणी केली जाते. या सूचनाही, आपण उदाहरणार्थ घेतलेल्या ४२-अंकी शब्दांतच सामावलेल्या असतात. या दोन प्रकारच्या शब्दांना सोयीकरता आपण ' संख्या-शब्द ' (Number-containing word) व ' सूचना-शब्द ' (Instruction-containing word) म्हणू. सूचना-शब्दात, निर्देशित गणिती कृतीच्या (operation code च्या) उल्लेखाबरोबरच, पुढील कृतीची माहिती संग्रहातील कोणत्या पत्त्यावरील

शब्दात मिळेल तो पत्ता किंवा अधिक पत्ते दिलेले असतात. सूचना-शब्दाचा नमुना खाली दिला आहे :

समानीकरण अंक	निर्देशित गणिती कृती	संग्रहातील पुढचे संबंधित पत्ते		
		पहिला पत्ता	दुसरा पत्ता	तिसरा पत्ता
×	×××××	××××××××××××	×........	....
१ अंक	५ अंक	१२ × ३ = ३६ अंक		

निर्देशित गणिती कृती विशिष्ट अक्षराच्या रूपाने सुचविली जाते. उदा. A = Add, बेरीज करा; S = Subtract, वजा करा, इ. आणि ही अक्षरे ५ द्विमान अंकांच्या विशिष्ट जुळण्यांनी सिद्ध होतात. संग्रहातील विशिष्ट पत्त्याचा क्रमांक हा संबंधित उभ्या व आडव्या (क्ष, य) तारांच्या क्रमांकांची द्विमान रूपे (द्विमानांकित पद्धतीने मांडलेली नव्हेत) एकापुढे एक मांडून तयार होतो; उदा. $क्ष_{५२}$ $य_{२७}$ हा पत्ता ११०१००,०११०११ या १२ द्विमानांकांनी व्यक्त होतो. एका पत्त्याला याप्रमाणे १२ द्विमानांक (Bits) लागत असल्याने येथे संग्रहातील एका सूचना-शब्दात एकंदर ३ पत्ते मावतात. वरील आराखड्यात याचा हिशेब दिला आहे. या ३ पत्त्यांवर पुढचे पुढचे क्रमाने लागणारे संख्या-शब्द, किंवा सूचना-शब्द संग्रहित केलेले असतात.

संग्रहामध्ये संख्या व सूचना एकत्र सरमिसळ लिहिल्या जात नाहीत. त्यांच्याकरता वेगवेगळे प्रदेश राखून ठेवलेले असतात, उदा. प्रस्तुत उपलब्ध असलेल्या ४०९६ स्थानांपैकी ० ते ९९ या १०० स्थानांवर संगणक पाळतो त्या काही नित्याच्या सूचना लिहिलेल्या असतील; त्या कधीच पुसल्या जात नाहीत; १०० ते १९९ या १०० स्थानांवर त्या त्या गणितातील किंवा समस्येतील प्रासंगिक सूचना लिहिल्या जातील; तर २०० ते ४०९५ या बाकीच्या ३८९६ स्थानांवर प्रासंगिक गणितातल्या संख्या लिहिता येतील.

अशा रीतीने, इतक्या सर्व बारकाव्यांच्या आधारावर प्रस्तुत फेराइट-कड्यांच्या-संग्रहाचे माहिती धारण करण्याचे काम पार पडते.]

गणित सुटत असताना त्या त्या प्रसंगी लागणारा माहितीचा अंश (इष्ट संख्या, सूचना इ.), तो, संग्रहातील ज्या स्थानावर किंवा पत्त्यावर लिहिलेला असेल, त्याच नेमक्या योग्य पत्त्याशी संपर्क साधून, कसा वाचला व बाहेर आणला जातो याविषयीची माहिती पुढे प्रकरण १५ मध्ये मिळणार आहे.

संग्रहव्यवस्थेचे आणखी काही प्रकार

वीजवाहक तारा व फेराइटची कर्षकशील कडी यांच्या उपयोगाने रचलेल्या वर वर्णिलेल्या संग्रहयोजनेत सुमारे ४ हजार शब्द माहिती मावते. ही माहिती संगणकाच्या एकंदर आवश्यकतेच्या दृष्टीने अत्यल्प आहे. पण नित्याच्या स्वरूपाची व कमी गुंतागुंतीची गणिते सोडविण्यास ती पुरेशी असते. याच तऱ्हेचे, याच्या काहीपट अधिक क्षमतेचे संग्रह रचले जातात; पण त्यामध्येही आवश्यक त्या सर्व माहितीची धारणा होऊ

शकत नाही. शिवाय, या तऱ्हेची रचना अत्यंत जिकिरीची व खर्चाची असते. तिच्या व्याप्तीला त्यामुळे स्वाभाविकपणेच मर्यादा पडते. या रचनेची मुख्य गुणवत्ता म्हणजे येथून इष्ट ती माहिती तत्काल उपलब्ध होते! योग्य त्या तारांतून योग्य वीजप्रवाह वाहू देण्याचाच काय तो अवकाश असतो! याकारणे या स्मृतिसंग्रहाला यथार्थपणेच Random-Access Memory म्हणतात. हा संगणकाचा प्रधान स्मृतिसंग्रह होय.

पण माहितीचा विचार करता, आणखी अगणित प्रकारची अपार माहिती संगणकाला बहुधा सदैव लागते. उदा. काही महिन्या-वर्षांपूर्वी सोडविलेल्या एखाद्या क्लिष्ट गणिताच्या विस्तृत उत्तरांपैकी काही माहिती पुनः संदर्भाकरता लागते. ती उत्तरे त्या वेळी कागदावर टाइप होऊन संगणकांतून बाहेर पडलेली असतात, पण त्यातील इष्ट तो मजकूर वाचून तो पुनः पंच करून संगणकाला पुरविणे, हे विचारात न घेण्याइतके गैरसोयीचे असते. अशा परिस्थितीत एक सोय उपलब्ध असते (व तिचा फायदा घेतला जातो). अशी माहिती कागदावर टंकित होऊन बाहेर पडत असताना शिवाय 'टेपवर रेकॉर्ड' करून ठेवली जाते व टेपवरूनच संगणकाला पुरविली जाते. किंबहुना कोणचेही नवे काम (गणिती समस्या, हिशेब) संगणकाच्या सुपुर्द केले जाते ते या कर्षुकशील टेपच्याच माध्यमाने. खाली या 'टेप-संग्रह' योजनेचे त्रोटक वर्णन दिले आहे.

मॅग्नेटिक् टेप् मेमरी. गाणी, भाषणे इत्यादींच्या आवाजांचा संग्रह करणारा व त्यातील इच्छित गाण्याचे आवाज श्रोत्यांना पुनः ऐकवणारा 'टेप् रेकॉर्डर' अनेकांनी पाहिला, ऐकला असेल. या साधनातही ध्वनिसंग्रहाकरता फेराइट्चाच उपयोग केलेला असतो. या कर्षुकशील फेराइट्चा–लोहभस्माचा– सूक्ष्म जाडीचा थर किंवा लेप प्लास्टिकच्या लांब पातळ पट्टीच्या एका बाजूवर दिलेला असतो, व ती पट्टी, दोन रिळांच्या साह्याने उलगडली / गुंडाळली जाते. हे घडत असताना, रिळांच्या मधल्या जागेत, व पट्टीवरील फेराइट थराच्या अगदी जवळ राहावा असा एक वीजकर्षुक बसविलेला असतो. आता, जो ध्वनी नोंदवायचा असतो त्याच्या अनुसार वीजकर्षुकाच्या कर्षक क्षेत्राची तीव्रता बदलावी अशी व्यवस्था असते, व त्या बदलत्या तीव्रतेनुसार, हलत्या पट्टीवरील फेराइटच्या, त्या क्षणी कर्षुकसन्मुख असलेल्या भागात कर्षुकीय बदल घडतात. या कृतीने ध्वनी 'टेप करण्याचे' किंवा 'रेकॉर्ड करण्याचे' किंवा, आपण वर वापरलेल्या भाषेत सांगायचे तर, ध्वनी 'लेखनाचे' काम पूर्ण होते. नोंदलेला ध्वनी पुनः निर्माण करण्याचे, म्हणजेच 'वाचनाचे' काम त्याच वीजकर्षुकाच्या साह्याने उलट क्रियेने घडविले जाते असे समजता येईल.

अशा फेराइट्-लिप्त टेपवर ध्वनीच्या ऐवजी "०" व "१" या अंकांनी बनलेल्या संख्यांचे अथवा कसल्याही अंकगत माहितीचे लेखन करणे व तिचे पुनः जरूर तेव्हा वाचन घडविणे ही तर अधिक सुलभ गोष्ट ठरते. या साधनाची मजकूर सामावण्याची क्षमता आश्चर्य वाटावे अशी मोठी असते. सुमारे एक इंच रुंदीच्या या प्लास्टिक पट्टीवर लेखनाची ओळ (channel) एकच असते असे नाही, तर पट्टीच्या

लांबीला समांतर अशा ८/१० पर्यंत ओळी असू शकतात, व पट्टीच्या केवळ एक इंच लांबीत, दोनशे ते सहाशेपर्यंत अंक लिहिलेले मावू शकतात! पट्टीची सलग लांबीही ५–६ शे मीटरपर्यंत (सुमारे $\frac{1}{3}$ मैल इतकी!) असू शकते. यावरून येथे किती लक्ष शब्दांचा संग्रह होऊ शकत असेल याची कल्पना करावी.

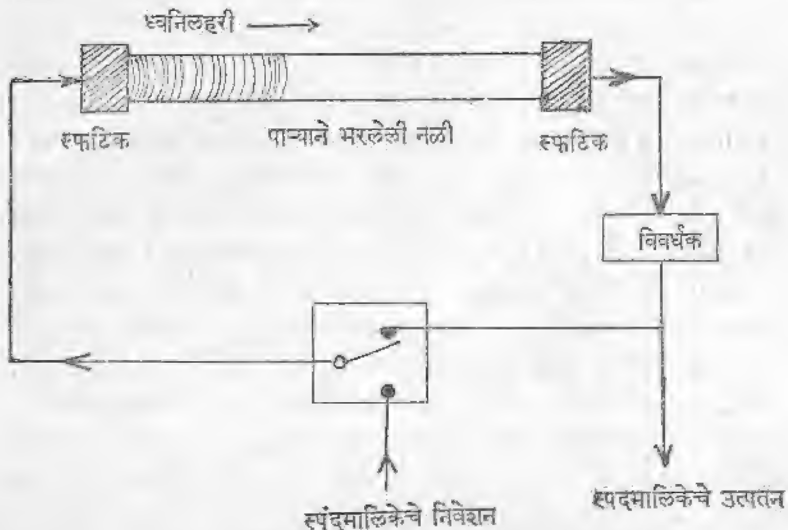
पण या संग्रह-योजनेचा एक अंगभूत दोष वरील वर्णनावरूनच ध्यानी येतो.— अमुक एका माहितीची जरूरी लागली, आणि ती माहिती लिहिलेली टेपवरची जागा समजा पार दूर गुंडाळली गेली असली, तर तेथपर्यंतची गुंडाळी उलगडायला लागणारा वेळ या योजनेत अटळ ठरतो. येथे हे लक्षात घ्यावे की, आपल्या परिचयाच्या टेप-रेकॉर्डर मधील टेप सेकंदाला सुमारे ५ इंच उलगडला किंवा गुंडाळला जातो; संगणकाच्या टेपचा वेग सेकंदाला ६० ते १०० इंच असतो; पण तरीही, संग्रहित माहिती त्वरित उपलब्ध होण्याच्या दृष्टीने ही योजना गैरसोयीची ठरते. या योजनेला 'मॅग्नेटिक् टेप् मेमरी' असे सार्थ नाव आहे.

मॅग्नेटिक ड्रम् मेमरी. वरील टेप-संग्रह योजनेतील विलंबाचा दोष बऱ्याच प्रमाणात दूर करणारी, कर्षुकत्वावर अवलंबून असणारी ही आणखी एक योजना प्रचारात आहे. या योजनेत टेपच्या ऐवजी, सोयीच्या आकाराच्या नळकांड्याचा (ड्रमचा) बाहेरील वक्रपृष्ठभाग उपयोजिला जातो. या पृष्ठभागावर फेराइट्चा सूक्ष्म जाडीचा लेप लावलेला असतो, व ते नळकांडे, त्याच्या अक्षाच्या भोवती, मिनिटाला काही सहस्र फेरे होतील अशा गतीने फिरत ठेवलेले असते. फिरणाऱ्या पृष्ठभागावरील अनेक समांतर वर्तुळांवरून उपयुक्त माहितीचे शब्द लिहिलेले असतात. ते लिहिण्याचे व वाचण्याचे तंत्र टेप-योजनेतल्या प्रमाणेच असते, मात्र येथे इष्ट ती संख्या (अथवा तत्सम माहिती) मिळविण्याकरता लागणारा वेळ, जास्तीत जास्त, नळकांड्याच्या एका परिवलनाच्या वेळाइतका म्हणजे सुमारे $\frac{१}{५००}$ सेकंद असतो.

मॅग्नेटिक डिस्क मेमरी. ड्रम् मेमरीप्रमाणेच ह्याही संग्रहाचा एक प्रकार उपयुक्त ठरला आहे. येथे नळकांड्याऐवजी, ग्रामोफोनच्या तबकड्यासारख्या पण कर्षुकशील पृष्ठभाग असणाऱ्या तबकड्या (Magnetic Disks) एका उभ्या अक्षावर बसवून फिरत ठेवलेल्या असतात. ग्रामोफोन तबकडीवर समकेंद्री चऱ्यांतून ध्वनीचे लेखन होते, त्याच तऱ्हेने येथे समकेंद्री वर्तुळांवर संग्राह्य माहितीचे शब्द लिहिले जातात. शेजार-शेजारच्या दर दोन तबकड्यांमध्ये पुरेसे अंतर सोडलेले असते, जेणेकरून, त्यांच्या खालच्या/वरच्या पृष्ठभागांवर 'लेखन', 'वाचन' करणारा वीजकर्षुक ज्या दांड्याच्या (arm च्या) टोकांवर बसविलेला असतो तो दांडा त्या मोकळ्या जागेत प्रवेश करू शकतो. दांड्याचे दुसरे टोक तबकड्यांच्या शेजारी दुसऱ्या उभ्या अक्षाभोवती बसविलेले असते. प्रत्येक पृष्ठभागाकरता एक वीजकर्षुक व दांडा बसविलेला असतो. या संग्रह योजनेत ड्रम् योजनेपेक्षा एकंदर माहितीही अधिक मावते, व इच्छित विशिष्ट माहितीची प्राप्तीही अधिक लवकर होते.

संग्रह-योजनांची वैशिष्ट्ये. या प्रकरणात सुरुवातीस वर्णिलेला फेराइट् कड्यांचा स्मृतिसंग्रह स्थिरस्वरूप असतो, व संग्रहित माहितीपैकी आवश्यक ती माहिती तत्काल पुरवितो, तर नंतर वर्णिलेले तीन प्रकार गतिमान स्वरूपाचे असून त्यांमधील माहिती कमी अधिक विलंबाने मिळते. पहिला प्रकार हा संगणकाचा मुख्य किंवा प्रधान संग्रह (main store) होय, तर बाकीचे तीन प्रकार हे उपसंग्रह किंवा पूरक संग्रह (backing stores) असतात. संगणकाच्या अंतर्विभागाशी त्यांचा प्रत्यक्ष संबंध नसतो. त्यांमधील जरूर ती माहिती प्रथम प्रधान संग्रहात पोचविली जाते व तेथून तिचा विनियोग होतो. दुसरी गोष्ट, गतिमान संग्रहातील माहिती वाचली जाताना पुसली जात नाही; लिहिलेली तशीच शाबूत राहते. याच्या उलट, कड्यांच्या संग्रह-योजनेत लिखित माहिती (अर्थात् तिच्यातील योग्य स्थानी मांडलेल्या "१" या अंकाची मालिका) वाचली जात असताना पुसली जाते. पण विशेष आपोआपी योजनेने तिचे तत्काल पुनः लेखनही होते. थोडक्यात, या चारी प्रकारांत संग्रहित झालेली माहिती कायम टिकणारी—वीजपुरवठा बंद झाला तरी कायम टिकणारी—असते. पण, अल्पकालपर्यंत टिकणाऱ्या माहितीच्या संग्रहाचीही एक योजना पूर्वीच्या काही संगणकात बसविलेली असे. त्या अभिनव योजनेचे त्रोटक वर्णन खाली दिले आहे.

अल्पकालिक संग्रह (volatile memory). विजेच्या स्पंदांच्या मालिकेतील स्पंदाचा (pulse चा) अर्थ " १ " व स्पंदांच्या मधून मधून पाठविलेल्या स्तब्धतेचा, अर्थात् चुकविलेल्या स्पंदाचा (missing pulse चा) अर्थ " ० " असा संकेताने धरता येतो हे अनेकदा सांगितले गेले आहे. अशा 'स्पंद–बंद' मालिकेने व्यक्त होणाऱ्या संख्या किंवा शब्द काही अल्प काळ विलंबित राहावेत (जणू दुसऱ्या पाटीवर लिहून बाजूस ठेवले जावेत), आणि गणित सुटण्याच्या चालू असलेल्या प्रक्रियेत त्यांची जरूर लागताच पुनः उपलब्ध व्हावेत अशी व्यवस्था या संग्रह-प्रकारात असते. हे कार्य, पाऱ्यातून जाणाऱ्या ध्वनिलहरींच्या साह्याने साधतात. या साधनाची रचना व कार्य पुढील प्रमाणे असते. आकृती १३·५ पाहावी. येथे एका काचेच्या नळीत पारा संपूर्णतया भरलेला असून नळीच्या दोन्ही टोकांना गारगोटीचे (क्वार्ट्झचे) स्फटिक बुचासारखे बसविलेले असतात. या स्फटिकाचा आणि तत्सम टुर्मलिन नामक खनिज स्फटिकाचा गुणधर्म असा असतो की, त्याच्या पृष्ठावर कसलाही आघात झाला, (आणि त्यामुळे त्या अत्यल्प कालापुरते ते पृष्ठ स्फटिकाच्या विरुद्ध बाजूच्या पृष्ठावर दाबले गेले), की त्या विरुद्ध बाजूच्या पृष्ठावर, आघाताच्या तीव्रतेच्या प्रमाणात वीजवर्चस निर्माण होते, व या वर्चसामुळे मग त्या पृष्ठाला लागून असलेल्या माध्यमात वीजप्रवाह निर्माण होऊ शकतो! आणि याच्या उलटही घडू शकते, म्हणजे, स्फटिकाच्या एका पृष्ठाला वीजवर्चस पुरविल्यास, उलट बाजूच्या पृष्ठाचा, त्याला चिकटून असलेल्या माध्यमावर धक्का बसतो. थोडक्यात, हे स्फटिक वीजवर्चस (electrical potential) व यांत्रिक आघात (mechanical impact) यांचे एकमेकात परिवर्तन घडविण्याचे काम



आकृती १३·५ अल्प-कालिक संग्रह (Volatile Memory)

करतात. आणि या क्रिया जेव्हा लागोपाठ आणि त्वरेने घडतात, तेव्हा बीजस्पंदमालिकेचे (train of electrical, pulses चे) यांत्रिक कंपनांमध्ये (vibrations मध्ये) व कंपनांचे स्पंदमालिकेमध्ये परिवर्तन घडते. ही कंपने म्हणजे त्या त्या माध्यमातून जाणारी ध्वनीची कंपने होत.

या योजनेतील आणखी एका शास्त्रीय सत्याचा उलगडा आता करायचा आहे– बीजस्पंदांची त्वरा (frequency) फार मोठी–सेकंदाला काही लक्ष इतकी– असते. पण त्या स्पंदांमुळे निर्माण होणाऱ्या कंपांचा प्रस्तुत योजनेतील पाण्यातून प्रवास–म्हणजेच ध्वनीचा पाण्यातील वेग– हा मात्र सावकाशीचा असतो. यामुळे, जेव्हा नळीच्या एका टोकाच्या स्फटिकाच्या बाहेरच्या बाजूस बीजस्पंद पुरविले जातात, तेव्हा स्फटिकाच्या दुसऱ्या बाजूस चिकटलेल्या पाण्यामध्ये निर्माण झालेली कंपने सावकाश गतीने पुढे सरकत राहतात, म्हणजे त्यांची तेथे एक प्रकारची साठवण होते. या लाटा नळीच्या दुसऱ्या टोकापाशी पोचेपर्यंत, स्पंदांच्या त्वरेच्या मानाने पुष्कळच वेळ जातो, फार मोठ्या संख्येने स्पंद नळीत शिरलेले असतात, इतके की, १५–१६ इंच लांबीच्या नळीमध्ये, प्रत्येकी सुमारे ४० द्विमानांकांच्या बनलेल्या २०–२५ संख्या ओळीने संग्रहित होतात! कंपने नळीच्या दुसऱ्या टोकाला पोचल्यानंतर, तेथील स्फटिकामुळे त्यांचे पुनः स्पंदमालिकेत परिवर्तन घडून ती मालिका (मूळच्या प्रमाणेच स्पंद–बंदचा क्रम असलेली) तेथून बाहेर पडते. मात्र या प्रवासात स्पंदांची तीव्रता कमी होत असल्याने,

ॲम्प्लिफायरच्या साह्याने त्यांचे पुनः शक्तिवर्धन करावे लागते. यापुढची गोष्ट, किंचित्-काल नळीत धरून ठेवलेल्या या संख्यांच्या प्रत्यक्ष उपयोगाची वेळ, नळीतील त्यांच्या एका प्रवासानंतर आलेली नसली तर ती स्पंदमालिका नळीतून पुनः पुनः पाठविली जाते व योग्य वेळी उपयोजिली जाते.

या कारणामुळे ही योजना म्हणजे एक विलंब-योजना ठरते व उपरोक्त नळीला विलंबकारी नळी (Delay Tube) असे म्हणतात. पण एका दृष्टीने संख्यांचा किंवा उपयुक्त माहितीच्या शब्दांचा हा अल्पकालिक संग्रहही असतो. संग्रहाच्या या प्रकाराला मग यथार्थतेने 'क्षणजीवी संग्रह' (Volatile Memory) म्हणतात.

येणेप्रमाणे, संगणकाला लागणाऱ्या माहितीचा संग्रह कसा केला जातो या-विषयीच्या विविध योजना आपण पाहिल्या.

सोडवायच्या गणिताविषयीची प्रत्यक्ष व आनुषंगिक माहिती कॉम्प्युटर कोठे, कशी टिपून घेतो, तसेच त्याला लागणारी पूरक माहिती कशी प्राप्त होते, याविषयीचे विवेचन या प्रकरणात झाले. पुढील प्रकरणात, संचालक व्यक्ती हा सर्व मजकूर कॉम्प्युटरला कसा पोचविते व झालेल्या कामाचा अहवाल कॉम्प्युटर परत कोणत्या रीतीने करतो या बाबींची चर्चा होणार आहे.

प्रकरण : १४

निवेशन व उत्पतन यंत्रणा (Input & Output Systems)

पंचिंग मशीन (छिद्रण यंत्र). पंच टेप, पंचकार्ड व त्यांचे वाचनिक (Readers).

त्वरा-संतुलक सरण्या (Buffer Memories). **दुभाषी पुनर्लेखनिक** (Converters).

द्रुत-मुद्रण योजना (High-speed Printing). **आकृतींचे निवेशन, उत्पतन.**

कॅथोड रे ट्यूब (Cathode Ray Tube, C. R. T.).

प्रकरण २ मध्ये संगणकाच्या ज्या पंचेंद्रियांचा किंवा पांच प्रमुख उपांगांचा उल्लेख केला आहे, त्यातील **अंकगणित विभाग** व **स्मृतिसंग्रह** या दोन विभागांचे विवेचन येथवर झाले. आता या प्रकरणात, संगणकाकडून जे गणिती काम करून घ्याव-याचे असते, ते त्याच्या सुपुर्द कसे केले जाते, व संगणकाने ते काम केल्यानंतर त्यांतून निघणारे निष्कर्ष, अर्थात् गणिताचे उत्तर, संगणक संचालक व्यक्तीला परत कसे करतो, या दोन विषयांची चर्चा करावयाची आहे. ही दोन कामे करणाऱ्या विभागांना इंग्रजीत अनुक्रमे Input System आणि Output System किंवा संक्षेपाने, नुसते Input आणि Output म्हणतात. आपण यांकरिता ' निवेशन यंत्रणा ' आणि ' उत्पतन यंत्रणा ' अशी अन्वर्थक नावे योजिली आहेत.

गणिततज्ञ व्यक्तीने संगणकाकडून सोडवून घेण्याकरिता मांडलेले गणित हे, संख्या (अर्थात् दशमान संख्या, Decimal Numbers), अक्षरे (Alphabet) व आनुषंगिक चिन्हे (Mathematical etc. Signs) यांनी युक्त असते. या सर्वांकरिता **वर्ण** (Character) हा शब्द योग्य होय. एवंच, व्यक्तीची एतद्विषयक भाषा ही वर्णांची बनलेली असते. पण संगणकाच्या अंतर्गत व्यवहारात प्रत्यक्ष या वर्णांना काही अर्थ नसतो. संगणकाची त्याच्या व्यवहाराची एकच भाषा असते, ती म्हणजे वीजस्पंदांची ! या स्पंद-भाषेतील ' स्पंद ' व ' स्पंदाचा अभाव ' अर्थात् ' बंद ' या दोन खुणा १ व ० या अंकांचे प्रतिनिधित्व करतात. हा संकेत म्हणजे गणितज्ञाची भाषा व संगणकाची भाषा

यांच्या संबंधातील एक महत्त्वाचा मुद्दा होय. यातून निष्कर्ष असा निघतो की, सोडवायचे ते गणित अंतिमतः या स्पंदांच्या भाषेत भाषांतरित करून संगणकाच्या स्वाधीन केले पाहिजे. गणिताचे उत्तर गणितज्ञ व्यक्तीला प्राप्त व्हायचे ते परत वर्णांनी युक्त असे म्हणजे गणितज्ञाच्या परिचित भाषेत असले पाहिजे हे ओघानेच आले. पण उपरोक्त वर्ण–ते–स्पंद भाषांतर ही गोष्ट एकदा शक्य झाल्यावर प्रतिभाषांतर ही फारशी अडचणीची बाब उरत नाही.

मानव आणि संगणक यांच्या भाषांमध्ये संबंध प्रस्थापित करण्याकरता 'अमुक वर्ण हा अमुक इतक्या स्पंदांच्या विशिष्ट क्रमाने व्यक्त व्हावयाचा' असे संकेत अर्थातच आवश्यक ठरतात. तसे संकेत प्रस्थापित झालेले आहेतही. पण यावरून असा समज होऊ देऊ नये, की संचालक व्यक्तीने, समजा टेलिटाइपरायटरसारख्या साधनांतून, घाला वयाच्या गणितातील वर्णांनुसार विशिष्ट तऱ्हेने वीज स्पंद पोचविले की निवेशनाचे काम झाले! निवेशन इतक्या सरळ रीतीने व थेटपणे शक्य नसते. याचे कारण, टेलिटाइप-रायटरने गणिताचा मजकूर संगणकाला पोचता करण्याची त्वरा, व ते गणित मांडून घेण्याची आणि सोडविण्याची संगणकाची त्वरा यांमध्ये जमीन-अस्मानाचा फरक आहे! कसलेला टाइपिस्ट सेकंदाला फार तर १८-२० वर्णांचे टंकन (अर्थात् टेलिटाइपरायटरच्या द्वारा प्रेषण) करू शकेल, तर संगणक एका सेकंदात अशा काही लाख वर्णांवर इष्ट गणिती क्रिया करू शकतो! तेव्हा या बाबतीत मग असे करणे क्रमप्राप्त ठरते, की (संगणकाचे आधीचे दुसरे काही काम चालू असताना) नियोजित गणिताच्या मजकुराचे व्यवस्थित क्रमवारीने 'साठवण' करून ठेवायचे, व (आधीच्या कामातून संगणक मोकळा होताच) तो साठीव (stored) मजकूर शक्य त्या त्वरेने त्याच्या सुपुर्द करावयाचा.

येथवरच्या प्रकरणांत सांगितल्याप्रमाणे, संगणकाची अंतर्रचना अत्यंत क्लिष्ट व कष्टसाध्य असते. संगणकाची किंमतही त्यामुळे फार मोठी असते. तेव्हा अशा मूल्यवान साधनाला फार वेळ बेकार ठेवणे परवडणारे नसते. मग, त्याला शक्य तितक्या अधिक वेळ कार्यरत ठेवण्याकरता, काम पुरवण्याची वरील तऱ्हेची योजना आवश्यक ठरते.

गणिताच्या मजकुराचे प्रेषण व संगणकाकडून त्याचा स्वीकार यांच्या त्वरांमधील तफावत कसकशी दूर होते ते आता पाहू. मजकुराची सुरवातीची साठवण केली जाते ती, त्या मजकुरानुसार, कागदाच्या अखंड फितीवर (पेपर टेपवर) किंवा विशिष्ट आकाराच्या अनेक कार्डांवर (पंच कार्डांवर) काही प्रस्थापित संकेतान्वये छिद्रे* पाडून केली जाते. पुढे, कागदावर अशा तऱ्हेने पाडलेल्या छिद्रांची स्थाने व संख्या यानुसार

---

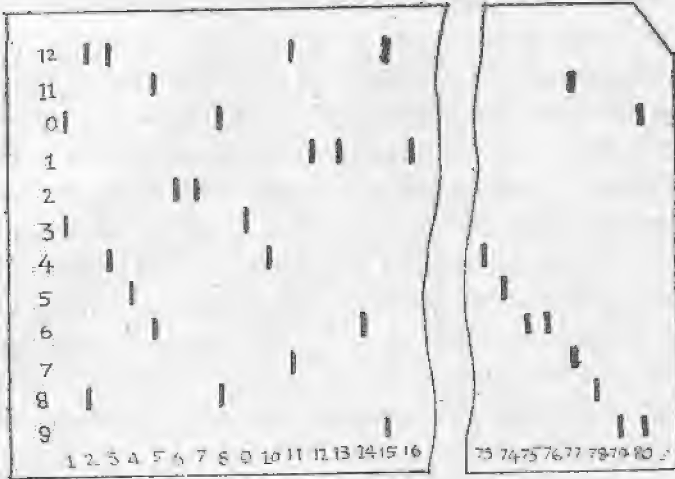
* मूळ मजकूर मुद्रित असतो, तो आता छिद्रित स्वरूपात रूपांतरित होतो; या दृष्टीने 'मुद्रण' (printing, typing) या शब्दासारखाच 'छिद्रण' (punching) हा शब्द येथे योजता येईल.

विशिष्ट क्रमाने बीजस्पंद निर्माण व्हावेत अशी यापुढची योजना असते, की जेणेकरून मजकुरातील वर्णांचे यथातथ्य निदर्शक असे ते स्पंद संगणकाला पोचविणे शक्य होते. पण या (साठवलेल्या) छिद्रित मजकुराचेही प्रेषण तसेच्या तसे व्हावयाचे नसते. ते वर उल्लेखिलेल्या प्रेषणापेक्षा फार जलद होते खरे, पण तरीही त्याची त्वरा संगणकाला पुरेशी नसते.

मग याकरता, मजकूर ' साठवून पाठविण्याच्या ' योजनेत साठवणाचा आणखी एक टप्पा स्वीकारावा लागतो, पंचटेप व पंचकार्ड यांवरील छिद्रित मजकूर कर्षुकशील टेपवर (magnetic tape वर) उतरवून घेणे आवश्यक ठरते. हे घडत असताना, छिद्र–बीजस्पंद–कर्षुकीकरण ही मालिका कशी पूर्ण होत असेल हे, विशेषतः गेल्या प्रकरणातील माहितीवरून ध्यानी येईल. कर्षुकशील टेपवरील मजकुराचा संग्रह हा ' थोड्या जागेत विपुल मजकूर ' असा गर्दीचा पण तरीही सुलभसाध्य असतो. तेव्हा, या टेपच्या माध्यमाने होणाऱ्या प्रेषणाची त्वरा, संगणकाच्या मजकूर-स्वीकारण्याच्या त्वरेशी काहीशी जुळती होते. या टेपच्या कार्यपद्धतीची माहिती गेल्या प्रकरणात दिली आहे. छिद्रण-यंत्र, पेपर टेप व कार्ड या साधनांच्या उपयोगाची माहिती खाली दिली आहे :—

छिद्रण यंत्र (Punching Machine). याचा दर्शनी भाग टाइपरायटरच्या (Keyboard) सारखा असतो. टाइपरायटरचे विशिष्ट वर्ण टंकित करणारे बटण (Key) दाबताच मशीनमध्ये घातलेल्या कागदावर तो वर्ण टंकित होतो, कागद एक घर डावीकडे सरकतो आणि त्यामुळे पुढचा वर्ण पहिल्याच्या शेजारी टंकिता येतो; व या रीतीने वर्णांची एक ओळ (Row) टंकित करता येते. या ओळीतील प्रत्येक वर्णाचा स्तंभ (Column) वेगळा असतो हे ध्यानी घ्यावे. छिद्रण यंत्रात बसविलेल्या कागदी टेपवर किंवा कार्डावर, एका वर्णाकरता (म्हणजे त्या वर्णाचे बटण दाबताच), एका स्तंभात, विशिष्ट संकेतानुसार, एक किंवा अधिक छिद्रे पडावीत अशी योजना असते. ही छिद्रे अर्थातच वेगवेगळ्या ओळीत असतात. याप्रमाणे एका वर्णाचे छिद्रण झाल्यावर पुढच्या स्तंभात पुढच्या वर्णाचे छिद्रण होते. छिद्रण यंत्राचे चित्र प्रकरण १७ मध्ये आढळेल.

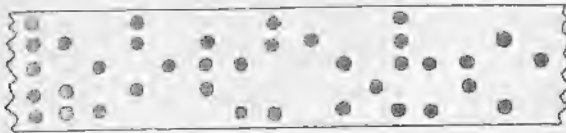
पंचकार्ड (Punch Card). आकृती १४·१ पाहावी. या कार्डाचा आकार व जाडी आंतरराष्ट्रीय मान्यतेने ठरलेली आहे. कार्डावर एकंदर १२ ओळींत व ८० स्तंभात छिद्रे पडू शकतात. ओळींना वरून खाली १२, ११, ०, १, २, ३....९ असे क्रमांक दिलेले आहेत, तर स्तंभांना डावीकडून उजवीकडे १, २, ३,....८० हे क्रमांक दिलेले आहेत. क्र. ० ते ९ या ओळीपैकी त्या त्या ओळीतील छिद्र हे त्या त्या (दशमान) अंकाचे निदर्शक असते. A ते Z वर्णमालेतील एकेका अक्षराकरिता वरील दोन पैकी विशिष्ट ओळीतील एक छिद्र व ० ते ९ या अंक-ओळीतील एक छिद्र अशी दोन दोन छिद्रांची विशिष्ट जुळणी (combination) संकेताने ठरली आहे. विविध



आकृती १४·१ पंचकार्ड (Punch Card)

चिन्हांकरता याचप्रमाणे दोन किंवा तीन छिद्रांच्या जुळण्या ठरलेल्या आहेत. सलग व बराच मजकूर छिद्रित करायचा असेल, तर एकानंतर दुसऱ्या, तिसऱ्या....कार्डावर त्याचे छिद्रण चालू ठेवता येते. पण कार्डाचा विशेष उपयोग म्हणजे, एका प्रकरणा-करता एक कार्ड वापरून, वेगवेगळ्या प्रकरणांची माहिती स्वतंत्रपणे संग्रहित करून ठेवता येते. उदाहरणार्थ—एखाद्या मोठ्या कंपनीतील प्रत्येक कर्मचाऱ्याचा पगार, भत्ते इ. संबंधीच्या सर्व हिशेबाकरता एक कार्ड, याप्रमाणे कर्मचारी-तितकी-कार्डे वापरून सर्व आवश्यक माहितीचा व्यवस्थित संग्रह करता येतो.

पंचटेप अर्थात् पेपर टेप. आकृती १४·२ पाहावी. ही चिवट कागदाची अरुंद पण अखंड फीत किंवा पट्टी असते. तिची रुंदी जरुरीप्रमाणे कमी-अधिक असते, व त्यानुसार छिद्रे पडावयाच्या ओळी (channels, rows) कमी-अधिक असतात; पण ५ ओळी कमीत कमी लागतातच. या पाच ओळींच्या टेपवर अर्थातच एका स्तंभात जास्तीत जास्त पाच छिद्रे पडू शकतात, व टेपची रुंदी सुमारे दोन सें. मी. असते.



आकृती १४·२ पंचटेप (Punch Tape)

आता, स्तंभातील छिद्रांची स्थाने व संख्या यांवरून वेगवेगळे वर्ण व्यक्तविले जायचे असल्याने, नुसत्या ० ते ९ या दहा अंकांकरताच चार छिद्रे आवश्यक ठरतात. (वाचकांनी आठ-चार-दोन-एक सूत्र आठवावे). येथे एका स्तंभात ५ पर्यंत छिद्रे उपलब्ध असल्याने त्यांच्या वेगवेगळ्या जुळण्यांनी (combinations नी) $२^५ = ३२$ वर्ण व्यक्त करता येतील. पण स्तंभात एकही छिद्र नसणे–टेप कोरा असणे–ही जुळणी विचारातून वगळावी लागते. ती कोणत्याही वर्णाची निदर्शक समजता येत नाही; नाहीतर, टेपच्या लांबीच्या मध्ये किंवा कडेला कुठेही कोरा टेप राहिला किंवा सोडला की, त्या कोऱ्या लांबीत जेवढे स्तंभ भरतील तेवढ्या प्रत्येक स्तंभात तो विशिष्ट वर्ण व्यक्त झाल्याचे समजावे लागेल! सारांश, एकंदर उपयुक्त जुळण्या मिळतात ३१, व त्यांपैकी १० जुळण्या दहा दशमान अंकांकरिता जातात, आणि बाकीच्या २१ जुळण्यांमध्ये अत्यावश्यक अक्षरे, चिन्हे बसविता येतात. (बहुतेक संगणकांकरिता ८ ओळींचा प्रशस्त टेप वापरला जातो, व तेथे सर्व वर्णांची अभिव्यक्तीही सुलभपणे होऊ शकते. येथे विषयाचे स्वरूप समजून घेण्याकरता केवळ पाच ओळींचा टेप घेतला आहे.)

कार्ड किंवा टेपवर साध्या भाषेतील मजकुराचे छिद्रण होत असतानाच दशमान–ते–द्विमान परिवर्तन सुरू होते. अमुक वर्णाकरता (विशेषतः अंकवर्णाकरता) अमुक ओळीत छिद्रे असावयाची या संकेताचा पाया दशमान-द्विमान संबंध हाच आहे. खालील तक्त्यावरून हे स्पष्ट होईल. दुसरी गोष्ट, संगणकाला सांगण्यात येणाऱ्या गणितातील विविध संख्यांवर कोणत्या गणिती कृती करावयाच्या याविषयीच्या सूचनांचाही मजकुरात अंतर्भाव असतो. (संख्याधारक शब्द व सूचनाधारक शब्द यांची माहिती गेल्या प्रकरणातच दिली आहे.) त्या सूचना, सोयीकरता त्यांच्या आद्याक्षरांनी व्यक्त झालेल्या, कशा छिद्रित होऊ शकतात तेही समोरील तक्त्यावरून ध्यानी येईल.

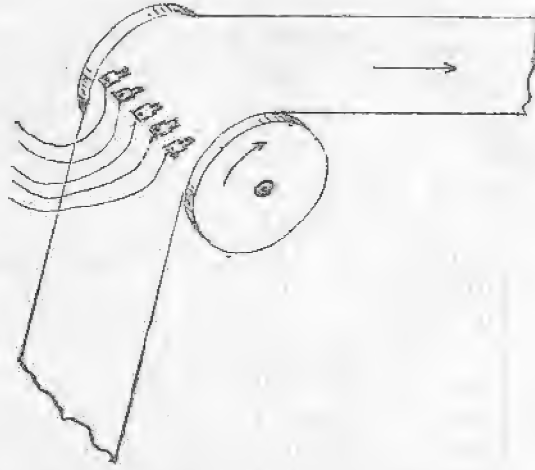


पेपरटेपवरील छिद्रांचा अन्वयार्थ

छिद्रणयंत्राच्या बटनावरील वर्ण	त्याची टेपवरील अभिव्यक्ति	छिद्रांच्या मांडणी-चा द्विमान अन्वय	दशमान मूल्य	संकेताने अर्थ
०	o · · · ·	०	०	०
१	o · · · o	१	१	१
२	o · · o ·	१०	२	२
३	o · · oo	११	३	३
४	o · o · ·	१००	४	४
५	o · o · o	१०१	५	५
६	o · oo ·	११०	६	६
७	o · ooo	१११	७	७
८	oo · · ·	१०००	८	८
९	oo · · o	१००१	९	९
A	oo · o ·	१०१०	१०	Add, बेरीज करा.
S	oo · oo	१०११	११	Subtract, वजा करा.
M	ooo · ·	११००	१२	Multiply, गुणाकार करा.
RS	ooo · o	११०१	१३	Read from Store, स्मृतिभांडारातून वाचा.
WS	oooo ·	१११०	१४	Write in Store, स्मृतिभांडारात लिहा.

टीप :– वरीलपकी प्रत्येक जुळणीत टेपवर सर्वात डावीकडच्या स्थानी छिद्र असल्याने आढळते. पण जुळणीच्या अन्वयात, तसेच तिच्या दशमान मूल्यात त्या छिद्राचे अस्तित्व विचारात घेतलेले नाही. (नाहीतर प्रत्येक जुळणीचे मूल्य १६ ने वाढले असते.) हा संकेत सोयीकरता केलेला आहे. दुसरी गोष्ट, आपणांस केवळ ' छिद्रांच्या लिपीचे ' स्वरूप समजून घ्यावयाचे असल्याने बाकीच्या जुळण्यांचा उल्लेख केलेला नाही.

छिद्रित मजकुराच्या अनुसार विद्युत्स्पंदांची निर्मिती. साध्या लिपीतील मजकुराचे छिद्रसमूहामध्ये रूपांतर हा इष्ट भाषांतरातील केवळ पहिला टप्पा होतो; कारण संगणकाला साध्या लिपीतला मजकूर कळत नाही, तसाच छिद्रित मजकूरही कळत नाही. त्याला समजणाऱ्या स्पंदांच्या भाषेत हा मजकूर वाचून दाखविणारे काहीतरी साधन मध्ये हवे. अशा साधनाला ' वाचनिक ' म्हणणे इष्ट ठरते. [लेखक व लेखनिक यांतील फरकाप्रमाणेच वाचक व वाचनिक यांतील फरक समजावा. इंग्रजीत याला Reader म्हणतात]. वाचनिक यंत्राच्या कार्यपद्धतीचे स्वरूप आकृती १४·३ वरून ध्यानी येईल.



आकृती १४·३ पेपरटेप सरकवणारे व वाचणारे साधन

छिद्रित कागद (कार्ड किंवा टेप) या यंत्रातून पुढे सरकत असताना, कागदाचा मागील पृष्ठभाग धातूच्या एका पत्र्यावरून सरकत जातो की जो पत्रा बीज-प्रवाहाशी संबंधित असतो. कागदाच्या पुढच्या बाजूवर, एका स्तंभात जितकी छिद्रे असू शकतात तितके, (उदा. कार्डाकरता १२) तारांची लवचिक अग्रे असलेले लहान लहान कुंचले (ब्रश) अपेक्षित छिद्रांच्या जागी माफक जोराने सतत दाबत असतात, व स्तंभातील ज्या ज्या स्थानी छिद्र पडलेले असेल त्या त्या स्थानावरील ब्रशाचा पत्र्याला स्पर्श होऊन त्या ब्रशातून बीज वाहते. या प्रवाहामुळे मग कागदावरील त्या विशिष्ट वर्णाची निदर्शक अशी ' स्पंद-बंद ' मालिका नियोजित सरणीतून वाहावी अशी योजना असते. थोडक्यात, या स्पर्शसंवेदी ब्रशांच्या साह्याने कागदावरील छिद्रित वर्ण संगणकाला त्याच्या भाषेत पोचविला जाण्याची सोय होते.

आणखी एका सोयीच्या तंत्राने हे काम साधतात. पंचकार्ड, पंचटेप यांची सरक चालू असतानाच्या मार्गावर विशिष्ट ठिकाणी, त्यांच्या एका बाजूला एक प्रकाशमान दिवा व दुसऱ्या बाजूस, कार्ड किंवा टेप यांच्या एका स्तंभात जितकी छिद्रे असू शकतील त्या प्रत्येक छिद्राच्या जागेच्या सम्मुख (against a hole) एक एक ' प्रकाश-विद्युत्-घट ' (Photocell) बसविलेला असतो. या घटावर प्रकाश पडताच त्यातून बीज-प्रवाह निघतो. अर्थात् ज्या ज्या घटांच्या समोर छिद्रे येतात तेवढयाच घटांतून बीज-प्रवाहाची निर्मिती होते, व छिद्र–ते–स्पंद या भाषांतराचे काम साधते.

त्वरा-संतुलक सरण्या (Buffer Memories). वाचनिक यंत्रणेद्वारा कागदा-

वरील छिद्रित मजकूर कर्षुकशील टेपवर स्थलांतरित होतो, पण तेथूनही तो संगणकाच्या प्रधान स्मृतिभांडारात परस्पर पोचविला जात नाही. कर्षुकटेपवरून निवेशित होतानाही त्याची त्वरा भांडाराच्या स्वीकार-त्वरेइतकी नसते. कारण, काही झाले तरी टेपद्वारा निवेशन ही एक यांत्रिकी हालचाल असते व भांडाराचे कार्य विजेच्या त्वरेने पार पडणारे असते. या दोन त्वरांचे संतुलन होणे (अद्यापही) आवश्यक असते. याकरता, टेपवरील मजकूर, संगणकाच्या अंतर्भागात तन्निमित्त बसविलेल्या अनेक फ्लिप्-फ्लॉप् सरण्यांवर प्रथम उतरवून घेतला जातो. या सरण्या म्हणजे मागे प्रकरण १२ मध्ये वर्णिलेल्या ‘ सरक-सरण्या ’ (Shift Registers) असतात. मजकुरातील वेगवेगळे शब्द वेग-वेगळ्या सरण्यांवर उतरले जातात. येथे पूर्ण किंवा पुरेसा मजकूर येऊन पोचला की तेथून तो भांडारात सरकविण्याचे काम सुरू होते.

दुभाषी पुनर्लेखनिक (Converters). कागदी टेप, कार्डे, मॅग्नेटिक टेप यांवर त्यांच्या त्यांच्या पद्धतीने व संकेताप्रमाणे गणिताचा मजकूर ‘ लिहिला ’ जातो. पण अनेक वेळा एका प्रकारच्या लेखनपटावरून दुसऱ्या प्रकारच्या लेखनपटावर त्याचे पुनर्लेखन आवश्यक असते. हे घडविणारे साधन अर्थातच सिद्ध झाले आहे. अशा साधनामध्ये योग्य तऱ्हेने वाचनिकाचे काम करणारी यंत्रणा व वाचलेल्या मजकुराचे इष्ट भाषेत (इष्ट प्रकारात) पुनर्लेखन करणारी दुसरी यंत्रणा या जोडलेल्या असतील हे कल्पनेने जाणता येते. अशी साधने सुटी किंवा मोठ्या संगणकांची बाह्यांगे (Peripherals) म्हणून उपलब्ध असतात.

या साधनाच्या आणखी वेगळ्या प्रकारांचा उल्लेख येथे इष्ट वाटतो. अखंडितपणे (continuously) मिळत असलेल्या माहितीची, लागोपाठच्या सूक्ष्म कालखंडांतील मूल्ये टिपून (sample करून), ती अंकीय संगणकाला (Digital Computer ला) पोचविण्यायोग्य करणाऱ्या कन्व्हर्टरची माहिती प्रकरण १ मध्ये वाचलेली आठवत असेल. या साधनाला Analogue-to-Digital Converter (संक्षेपाने A/D Converter) म्हणतात. याच्या उलट काम करणारा D/A Converter ही असतो. दुभाषी-पुनर्लेखनिक यंत्रणेचे हे आणखी दोन प्रकार होत.

याप्रमाणे, गणिताचा / समस्येचा मजकूर संगणकाच्या स्वाधीन करतानाचे टप्पे आपण पाहिले. आता घातलेल्या गणिताचे / समस्येचे उत्तर संगणकाकडून आपल्याला प्राप्त होतानाचे टप्पे पाहू.

उत्पतन यंत्रणा

या यंत्रणेला अधिक अर्थपूर्ण नाव द्यायचे तर उत्तर-वितरण यंत्रणा असे नाव देता येईल. संगणकाने सोडविलेल्या गणिती समस्येचे उत्तर (आणि अर्थात् गणिती काम अनेक हिशोबांचे असेल तर त्यांची उत्तरे) या यंत्रणेद्वारा संचालक व्यक्तीला पोचतात. ही उत्तरे साध्या भाषेत व्यक्त झालेली आणि बहुधा कागदावर टंकित किंवा मुद्रित

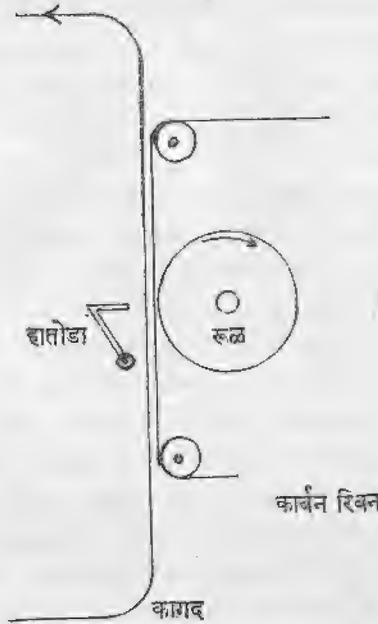
झालेली असतात. या क्रिया यांत्रिकी गतीने व्हावयाच्या असल्याने, संगणकाच्या आतील भागात होणाऱ्या कामाच्या विद्युत्-त्वरेशी तुलना करता फार सावकाशीने होतात. याकारणे, येथे पुनः त्वरा-संतुलक सरण्यांची योजना केलेली असते. गणिताची अंतिम उत्तरे निघत जातात तसतशी ती प्रधान संग्रहात मांडली जातात. नंतर ती या संतुलक सरण्यांवर येऊन स्थिरावतात व यथाक्रम टंकित / मुद्रित होत राहतात.

एकंदरीने पाहता, उत्पतन यंत्रणेतील सर्व टप्पे हे निवेशन व्यवस्थेतील टप्पेच असतात, पण उलट्या क्रमाने असतात; मात्र येथे शेवटचा टप्पा सहसा छिद्रित कार्डे किंवा टेप प्रसवणारा नसतो. (काही वेळा संगणकाने काढलेली उत्तरे पुनरुपयोगाकरता जपून ठेवा-यची असल्यास उत्तराच्या मजकुराची छिद्रित कार्डेही मुद्रित उत्तरांबरोबर संगणकातून बाहेर पडावीत अशी दुहेरी स्वरूपाची योजना असते.)

उत्तर प्राप्त होण्याचा सर्वांत साधा प्रकार म्हणजे, ते इलेक्ट्रिक टाइपरायटरमधून टंकित होऊन मिळणे हा होय. या यंत्रात, कागदावर वर्ण टंकणाऱ्या दांडीचे संचालन विद्युत्संदेशाने होते एवढेच. पण येथेही मजकुरातील एक एक वर्ण छापला जात असल्याने ही व्यवस्था कमालीच्या मंद गतीची असते. या गैरसोयीवर तोड म्हणून द्रुत-मुद्रणाच्या (High-Speed Printing च्या) अनेक व्यवस्था सिद्ध झाल्या आहेत. त्यांपैकी एकीची खाली दिलेली रूपरेषा मनोरंजक वाटेल :—

द्रुत-मुद्रण योजना—कोणताही मजकूर छापण्यास आवश्यक तितक्या सर्व वर्णांचे ठसे (अर्थात् उलटे ठसे) ज्यांच्या धावांवर (Rims वर) ठराविक क्रमाने बसविलेलेले आहेत अशा, सारख्या आकाराच्या अनेक चकत्या किंवा चाके एका दांड्यावर शेजारी-शेजारी घट्ट बसविलेली असतात. ती अशी बसविलेली असतात की, कोणत्याही एखाद्या वर्णाचे सर्व चाकांवरील ठसे, दांड्याशी समांतर असणाऱ्या एका ओळीत येतात. मज-कुराच्या एका ओळीत जितके वर्ण छापले जावयाचे असतात,(छपाईच्या भाषेत, छपाईचे जितके खिळे मावतात,) तितकी चाके दांड्यावर बसविलेली असतात. ही संख्या १२०–१६० पर्यंत असते. एवढ्या योजनेने मजकुराची पूर्ण ओळ एकदम छापणारा एक रूळ सिद्ध होतो. हा रूळ त्याच्या अक्षाभोवती ठराविक द्रुत गतीने फिरत ठेवलेला असतो.

रूळालगत, पण इष्ट तेवढे अल्प अंतर सोडून कार्बन रिबन (टाइपरायटरमध्ये असते तशी काजळ लावलेली फीत) बसविलेली असते. मात्र येथे ओळीतील सर्व वर्ण प्रायः एकदम छापले जावयाचे असल्याने फितीची रुंदी ही ओळीच्या लांबीइतकी असते. फितीच्या पलीकडे छापायचा कागद बसविलेला असतो. कागदाच्या पलिकडे, प्रत्येक चाकापुढे एक असे हातोडे बसविलेले असतात. आकृती १४·४ वरून या व्यवस्थेच्या रचनेची कल्पना येईल.



आकृती १४·४ **संगणकातून बाहेर पडणाऱ्या मजकुराच्या द्रुत-मुद्रणाच्या एका रचनेचा आराखडा**

या योजनेतील मुख्य तत्व पुढीलप्रमाणे असते : हे हातोडे संगणकाच्या उत्पतन विभागातून निघणाऱ्या बीजस्पंदांनी कार्यान्वित होतात व कागदावर ठोके मारतात. त्या त्या हातोड्याला स्पंद पोचून तो कागदावर आपटण्याची वेळ अशी साधली जाते की, मजकुरातील त्या जागेवर छापायचा इष्ट तो वर्ण (अर्थात फिरत्या रुळावरील त्या वर्णाचा ठसा) कागदाच्या व हातोड्याच्या संमुख येताच हातोडा कागदावर आपटावा. एखाद्या वर्णाचा ठसा नुकताच कागदाजवळून पुढे गेला, असला, तर तो पुनः कागदा-सम्मुख येण्यास, रुळाच्या सुमारे एका फेरीच्या वेळाइतका वेळ लागतो. पण हा वेळ अत्यल्प असतो, व परिणामतः **ओळीतील सर्व वर्ण प्रायः एकाच क्षणी छापले जातात !**

एका ओळीचे मुद्रण होताच कागद (व कार्बन रिबन) इष्ट तेवढे अंतर पुढे सरकतात. ही सरक चालू असताना हातोडे अर्थातच स्वस्थ असतात. एका मिनिटात अशा १२०० पर्यंत ओळी छापल्या जातात !

निवेशन-उत्पतन यंत्रणांचे नवनवीन प्रकार.

सामान्य प्रतीच्या संगणकामध्ये जी व्यवस्था असते, व जिला अत्यावश्यक

व्यवस्था म्हणता येईल, तिची माहिती वर सांगितली. पण या बाबतीत अधिक त्वरा व सोय साधावी म्हणून अनेकविध प्रयोग सतत चालू असतात. खाली अशा एका प्रयोगाची–व्यवस्थेची–त्रोटक माहिती सांगितली आहे. ही व्यवस्थाही आता १९७० नंतरच्या दशकात नवीन राहिली नाही. पण या बाबतीतल्या संशोधन क्षेत्राच्या व्याप्तीची कल्पना तीवरून करता येईल.

वर्णाऐवजी आकृतींचे निवेशन व उत्पतन. अनेक शास्त्रीय प्रयोगांचे निष्कर्ष हे त्या त्या प्रयोगाकरता योजलेल्या उपकरणांतून आपोआपी उठणाऱ्या आलेखाच्या रूपाने मिळतात, व निष्कर्षांचे वाचन साकल्याने करण्याच्या दृष्टीने ते सोयीचे असतात. (त्या आपोआपी यंत्रणेला ' ऑटोमॅटिक रेकॉर्डिंग ' म्हणतात.) या आलेखांच्या माध्यमाने प्रयोगातील ज्या दोन गुणविशेषांचे (variable properties चे) परस्परसंबंध व्यक्त झालेले असतात, त्या गुणविशेषांसंबंधीचे आणखी काही गणित संगणकाकडून सोडवून घ्यावयाचे असल्यास, प्रयोगकर्त्याला आलेखावरील सर्व महत्त्वाच्या बिंदूंची निबंधने (Co-ordinates, म्हणजेच त्या गुणविशेषांची त्या त्या स्थानांची मूल्ये) मोजून, त्यांचा तक्ता वगैरे करून, ती मूल्ये संगणकाला पुरवावी लागतात. याऐवजी, असा आलेखच संगणकाच्या सुपुर्द करता आला व संगणकाने स्वतःच त्यावरील निबंधनमूल्ये मोजून इष्ट ते गणित केले तर फार सोयीचे होईल, हे शास्त्रज्ञांना सुचले असेल तर ते रास्तच होय. कल्पक तंत्रज्ञांच्या व विज्ञानवंतांच्या डोक्यातून मग खालील योजना निघाली :

मायलर नांवाच्या एका चिवट प्लॅस्टिकच्या फिल्मच्या एका बाजूवर, योग्य तेवढ्या जवळ जवळ व समांतर असे, सूक्ष्म जाडीचे व इष्ट तेवढ्या खोलीचे चरे पाडून घ्यावयाचे. नंतर फिल्मच्या दुसऱ्या बाजूवर तसेच चरे, पण पहिल्या चऱ्याशी काट-कोनात पाडायचे, म्हणजे उभ्या-आडव्या रेषांचा आवश्यक तो ग्राफ् पेपर (आलेखपट) तयार झाला. या चऱ्यांतून मग रासायनिक प्रक्रियेने तांब्याच्या वर्खाचा थर बसवायचा. या जणू तांब्याच्या सूक्ष्म ताराच त्या फिल्मवरील खाचांतून शेजारी-शेजारी सरळ व समांतर बसविल्या असे झाले. आलेख पटाच्या कडांवर चऱ्यांच्या टोकांना मात्र खऱ्या सूक्ष्म तारा जोडून त्या संगणकास पोचविलेल्या असतात. पण या व्यवस्थेत कोणतीही तार दुसऱ्या कोणत्याही तारेस चिकटलेली नाही हे ध्यानी घ्यावे. आता या आलेख-पटावर विशेष प्रकारच्या लेखणीने (stylo or pen ने) इष्ट तो आलेख काढता, गिरवता येतो. या लेखणीचे वीजप्रवाहासंबंधीचे काही एक वैशिष्ट्य असते, की ज्यामुळे, ती ग्राफपेपरवरील ज्या ज्या रेषांवरून–रेषांच्या फुल्यांवरून– जाईल, त्या त्या रेषांमधून तत्काल विद्युत्स्पंद वहावेत, व ते संगणकास पोचावेत अशी योजना असते.

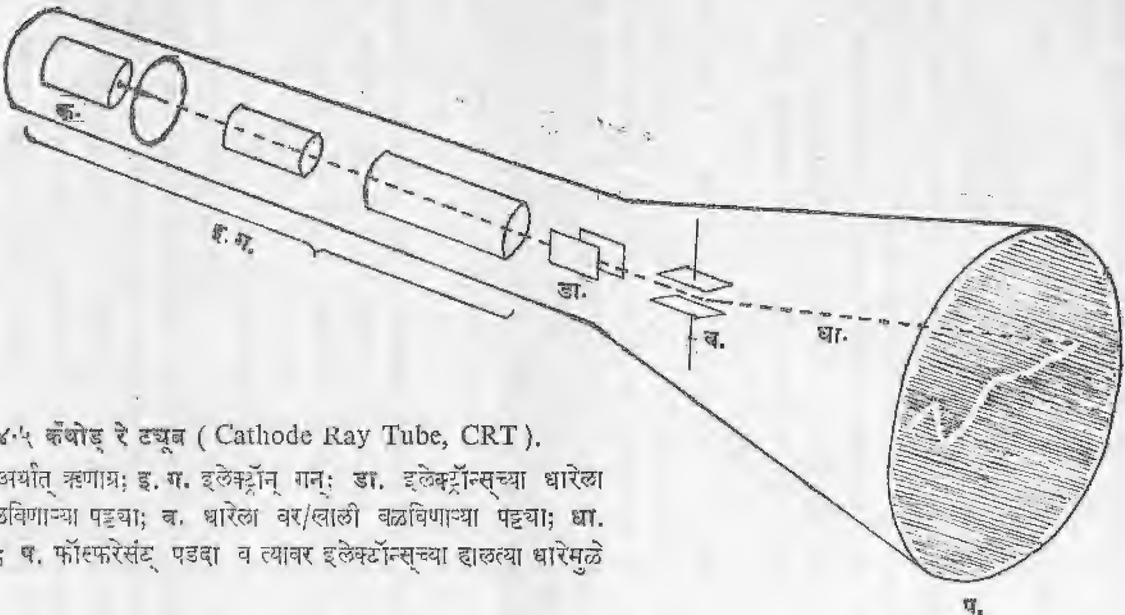
आता समजा **$क्ष_1$, $क्ष_2$, $क्ष_3$**........या प्रस्तुत ग्राफपेपरवरील उभ्या रेषा आहेत व **$य_1$, $य_2$, $य_3$**........या आडव्या रेषा आहेत. अशा परिस्थितीत आलेख काढणारी लेखणी या रेषांच्या ज्या ज्या फुल्यांवरून जाईल त्या त्या फुल्यांच्या **क्ष**, **य** रेषांतून स्पंद वाहतील व त्या फुल्यांची निबंधनमूल्ये (coordinates) संगणकाला क्रमाने

कळविली जातील, परिणामतः प्रयोगातील त्या दोन गुणविशेषांचे परस्परसंबंध दर्शविणाऱ्या मूल्यांच्या जोड्या संगणकाला कळविण्यात येतील व संगणक त्यांचे इष्ट ते गणित त्वरेने करेल. ही निवेशनपद्धती नुसत्या आलेखाकरताच नव्हे तर विविध आकृतींकरताही योजता येते.

संगणकाने सोडविलेल्या गणिताची उत्तरेही गणितज्ञांना आलेख किंवा आकृतींच्या रूपांत मिळू शकतील हे आता तर्काने ताडता येईल. त्याकरिता वरील व्यवस्थेच्या उलट स्वरूपाची व्यवस्था सिद्ध ठेवावी लागेल इतकेच. एवंच, टंकित किंवा मुद्रित मजकुराच्या माध्यमाऐवजी, जरूर तेव्हा आलेख-आकृतींच्या माध्यमाने संगणकाशी संपर्क साधला जातो. या सदराखाली येऊ शकेल अशा उत्पतनाचे किंवा उत्पतन-दर्शनाचे (output display चे) कार्य करणाऱ्या आणखी एका अभिनव योजनेची माहिती खाली सांगितली आहे. वाचकांना तीही मनोरंजक वाटेल.

कॅथोड रे ट्यूब (Cathode Ray Tube, C. R. T.). मागे प्रकरण ६ मध्ये आपण थर्मिऑनिक व्हाल्व्हची माहिती करून घेतली. त्या व्हाल्व्हशी काही बाबतींत साधर्म्य असलेल्या मोठ्या आकाराच्या अशा निर्वात कॅथोड् रे ट्यूबच्या साह्याने हे काम साधतात. आकृती १४·५ पाहावी. फनेलच्या आकाराच्या या बंद नळीच्या रुंद टोकावर आतल्या बाजूने फॉस्फरेसंट पदार्थाचा पातळ लेप लावलेला असतो. हा लेपाचा पडदा एरवी अपारदर्शक असतो, पण नळीत निर्माण होणारा इलेक्ट्रॉन्सचा झोत आतून पडद्याच्या ज्या ज्या भागावर पडेल तेवढाच भाग प्रकाशित होतो व काही अल्पकाल प्रकाशित राहतो. फॉस्फरेसंट पदार्थांचा हा गुणधर्म असतो. नळीच्या दुसऱ्या (निमुळत्या) टोकाला, पिचकारीतून पाण्यासारख्या द्रवाची जोरदार धार निघावी तशी ' इलेक्ट्रॉन्स्‌ची धार ' निर्माण करणारे घटक बसवलेले असतात. त्यापैकी, नळीच्या अगदी मागील टोकाला बसविलेल्या कॅथोडमधून (ऋणाग्रातून) इलेक्ट्रॉन्सचा एक झोत बाहेर पडतो; हा झोत नंतर त्याला अधिक आवळता (focussing) व अधिक वेगवान करणाऱ्या साधनांमधून जातो व त्याची प्रभावी धार बनते. हे घडवणाऱ्या घटकांच्या समुच्चयाला यथार्थतेने ' इलेक्ट्रॉन गन् ' म्हणतात. पडद्याच्या अलीकडे योग्य अंतरावर धारेला डावी/उजवीकडे तसेच वर/खाली वळविणारी साधने बसविलेली असतात. ही धारेला वळविणारी साधने आपल्या प्रस्तुतच्या विवेचनाशी संबंधित व महत्त्वाची आहेत; त्यांच्या कार्याचे नियमन हे संगणकाकडून मिळणाऱ्या उत्तरातील क्ष, य या निबंधनांच्या मूल्यांवर अवलंबून राहील अशी योजना असते. परिणामतः संगणकाकडून मिळणारे उत्तर कॅथोड रे ट्यूबच्या पडद्यावरील प्रकाशित आकृतीच्या स्वरूपात मिळते !

या साधनाच्या साह्याने नुसते आलेख, आकृतीच नव्हेत, तर वर्णयुक्त मजकूरही दाखविला जाऊ शकतो. याकरता ट्यूबच्या अंतर्रचनेत आणखी काही घटकांची भर घालावी लागते. इलेक्ट्रॉन्सची धार इष्ट दिशेने वळविणारे घटक व पडदा यांच्यामध्ये आवश्यक त्या सर्व वर्णांच्या आकृतींच्या खाचा पाडून बनविलेली (पण त्या खाचा



आकृती १४·५ कॅथोड् रे ट्यूब (Cathode Ray Tube, CRT).

क. कॅथोड अर्थात् ऋणाग्र; इ. ग. इलेक्ट्रॉन् गन्; डा. इलेक्ट्रॉन्स्च्या धारेला डावी/उजवीकडे वळविणाऱ्या पट्ट्या; व. धारेला वर/खाली वळविणाऱ्या पट्ट्या; धा. इलेक्ट्रॉन्स्ची धार; प. फॉस्फरेसंट् पडदा व त्यावर इलेक्ट्रॉन्स्च्या हालत्या धारेमुळे निघालेला आलेख.

नसल्या तर इलेक्ट्रॉन्सना पूर्णतया अपारदर्शक अशी) एक जाळी (mask) बसविलेली असते. उत्तराच्या मजकुरातील त्या त्या वर्णांचे संदेश जसजसे या ट्यूबला पोचतात, तसतशी इलेक्ट्रॉन्स्ची धार जाळीतील त्या त्या वर्णाकडे वळविली जाते, त्यांच्या खाचांतून आरपार जाते व यामुळे तिच्या छेदाला त्या त्या वर्णांची आकृती येते. पुढे तो वर्ण पडद्यावर योग्य जागीच 'प्रकाशित' व्हावा याकरता धार पुनः एकदा इष्ट दिशेने वळविली जाते. ही आकृती पडद्यावर फार थोडा वेळ दिसत राहते, पण तेवढ्या अवधीत तिचा फोटो घेऊन ठेवता येतो.

आपल्या मनातली गणिती समस्या आपण संगणकाला सांगितली, त्याने ती मांडून घेतली, सोडविली व तिचे उत्तर आपणास हवे असलेल्या स्वरूपात पोचते केले, या गोष्टी कशा घडतात ते आपण पाहिले. बरवर पाहता आपले काम झाले आहे. पण पुनः एकदा या साधनाच्या अंतर्भागात जाऊन, या सर्व कामगिरीचे नियंत्रण तेथे कसे केले जाते हे आपणांस पाहावयाचे आहे. त्या पाहाणीची माहिती आता पुढील प्रकरणी सांगू.

प्रकरण : १५

संगणकाचा नियंत्रण विभाग (Control Unit)

'संगणक गणित सोडवतो', 'गणिताचे उत्तर निर्दिष्ट स्वरूपात परत करतो', या तऱ्हेचे शब्दप्रयोग येथवर अनेकदा केलेले आढळतील. या शब्दप्रयोगात, संगणक म्हणजे कुणी व्यक्ती आहे व तिच्या कर्तृत्वाचे विवेचन चालू आहे, असा आभास निर्माण होतो. वस्तुस्थिती तशी मुळीच नाही. पण, संगणकाच्या अंतर्भागातील जडस्वरूप सरण्यांमध्ये योग्य क्रमाने घडणाऱ्या ज्या अनेक घटनांचा परिपाक म्हणून गणिताचे उत्तर मिळते, त्यांचा जो वारंवार उल्लेख एरवी करावा लागला असता, तो अशा कर्तरी प्रयोगाने टाळता येतो. संगणकाच्या नियंत्रण विभागाच्या बाबतीत तर असा कर्तरी शब्दप्रयोग अधिकच अपरिहार्य ठरतो. पण येथेही प्रत्यक्ष काय घडते, ते का व कसे घडते, हे जाणून घेण्याचे आपले प्रधान उद्दिष्ट आहे. ते उद्दिष्ट पार पडत असताना मग अशा वक्यप्रयोगांना फारशी हरकत नसावी.

इतर विभागाच्या कार्यावर या विभागाचे नियंत्रण असते, व तो त्यांचा समन्वय संभाळत असतो हे लक्षात घेतल्यास, हे काम त्या विभागांच्या कामापेक्षा अधिक महत्त्वाचे म्हणता येईल. आधीच्या प्रकरणांतून बाकीच्या चार विभागांच्या कामाची माहिती सांगताना, ती कामे पार पडण्यामागे असणाऱ्या कारणपरंपरा सांगितल्या नव्हत्या. आता प्रस्तुत नियंत्रणविभागाच्या वर्णनात ती माहिती मिळेल. आधीच्या माहितीतील काही बाबींचे उल्लेख येतील, तेथे तेथे वाचकांनी इष्ट तर त्या बाबी पुनः वाचून संदर्भ जुळवून घ्यावेत.

आकृती १५·१ मध्ये संगणकाच्या कामाचा आराखडा (flow diagram) दिला आहे, त्यावरून, काम पार पडत असतानाच्या पायऱ्यांचा क्रम ध्यानी येईल. नियंत्रण विभागाचे वर्तुळ आराखड्यात मध्यभागी दाखविले आहे, पण याचा अर्थ असा होऊ नये, की संगणकाच्या रचनेत या विभागाचे स्थान मध्यवर्ती असते. उलट, ते सर्वत्र पसरलेले असते, असे एका दृष्टीने म्हणता येईल. त्याच्या तारांचे जाळे बाकीच्या सर्व विभागात पोचलेले असते व त्या तारांतून जाणाऱ्या-येणाऱ्या संदेशांच्या माध्यमाने त्याचा प्रत्येक विभागाशी सतत संपर्क असतो. आकृतीत, दोन्ही दिशांना बाणाची टोके असलेल्या रेषांनी हे दर्शविले आहे.

संगणकास घातलेले गणित, या विभागाच्या नियंत्रणाखाली आपोआप कसे सोडवून मिळते, हे आपणांस समजून घ्यावयाचे आहे. संगणक-विज्ञानाचा प्रचंड विस्तार पाहता, खाली सांगितलेली एतद्विषयक माहिती ही केवळ स्थूल रूपरेषा आहे. पण मागील सर्व

आकृती १५·१ **संगणकाच्या कार्यपद्धतीचा आराखडा** (Flow Diagram).

प्रकरणांतील माहितीच्या आधारे, संगणकाच्या कार्यपद्धतीचे एक पूर्ण चित्र उभे करणारा तो महत्त्वाचा दुवा आहे. तो समजण्याकरता प्रथम काही संबंधित गोष्टी अवगत करून घेतल्या पाहिजेत त्या अशा :—

कोणत्याही गणितातील किंवा हिशेबातील **' संख्या ' व त्यासंबंधीच्या ' सूचना ' यांचे निवेशन सरमिसळ केले जात नाही.** सर्व सूचना योग्य क्रमाने आधी सांगितल्या जातात, व नंतर, त्या सूचना क्रमवारीने ज्या संख्यांना लागू असतात त्या संख्यांची यादी (series) पुरविली जाते. फेराइट् कड्यांच्या स्मृति-संग्रहामध्येही या दोन प्रकारच्या ' शब्दांच्या ' याद्या वेगवेगळ्या प्रदेशात मांडल्या जातात. (प्रकरण १३ मध्ये उदाहरणादाखल घेतलेल्या संग्रहात सूचनांकरिता क्र. १०० ते १९९ व संख्यांकरता २०० ते ४०९५ ही स्थाने राखून ठेवल्याचे सांगितले आहे.)

नियंत्रण विभागात एक विशेष रजिस्टर अर्थात् फ्लिप्-फ्लॉप् मालिका असते, की जिच्यावर, गणित सुटत असताना ज्या सूचनेची (सूचना-शब्दाची) अम्मलबजावणी चालू असते, तो शब्द, अम्मलबजावणी चालू असेपर्यंत लिहिलेला राहतो. हा शब्द अर्थातच या कामाकरिता स्मृती-भांडारातून आणवून येथे उतरून घेतलेला असतो. त्याचे काम संपताच (तो पुसला जाऊन) पुढचा सूचना-शब्द उतरून घेतला जातो व त्याची अम्मलबजावणी सुरू होते. या रजिस्टरला Instruction Register म्हणतात. त्याला ' सूचना-धारिणी ' म्हणजे ठीक होईल. हे रजिस्टर, भांडारातील सर्व स्थानांना–

सर्व पत्त्यांना–जोडलेले असते; पण हे जोडणाऱ्या सर्वच तारांतून स्पंदांची आवक-जावक सदैव चालू असते असे नाही. मध्ये बसविलेल्या 'योग्य निवड' (Selection) करणाऱ्या यंत्रणांमुळे योग्य तीच स्थाने योग्य वेळी रजिस्टरला जोडली जातात व जोडणाऱ्या तारांतून जावयाचे ते स्पंद जातात. निवड करणाऱ्या यंत्रणांचे काम हे या विभागाचे एक महत्त्वाचे काम म्हणता येईल. याचे विवेचन पुढे येणार आहे.

सूचना-धारिणीशेजारी दुसरी एक फ्लिप्-फ्लॉप् मालिका असते, की जिच्यावर, अम्मलबजावणी चालू असलेल्या सूचनेचा, संग्रहातला फक्त पत्ता, तेवढ्या वेळपर्यंत लिहिलेला राहतो. पत्त्याचा क्रमांक दर्शविण्याकरता मोजके द्विमानांक (Bits) पुरतात. (उदा. प्रकरण १३ मध्ये उल्लेखलेल्या आपल्या संग्रहातील कोणताही पत्ता १२ द्विमानांकांनी मांडला येतो. तेव्हा तेथे या दुसऱ्या मालिकेत १२ फ्लिप्-फ्लॉप् असले म्हणजे पुरेसे ठरतात.) या मालिकेला ओघानेच Instruction Counter म्हणतात. तिला 'सूचना क्रमांक धारिणी' किंवा सोयीकरता, 'क्रमांक-धारिणी' म्हणता येईल.

संगणकाच्या अंकगणित विभागात सूचना-धारिणीच्याच तऱ्हेची ४ रजिस्टरे–फ्लिप्-फ्लॉप् मालिका–असतात. (क्वचित् तीनच मालिकांवर काम भागवले जाते). या मालिका व भांडारातील संख्या मांडलेली सर्व स्थाने–पत्ते–जोडलेली असतात. पण येथेही, मार्गात बसविलेल्या निवड-यंत्रणांमुळे योग्य त्याच स्थानांशी योग्य वेळी संपर्क प्रस्थापित होतो. यापैकी दोन मालिकांवर, त्या दोन विशिष्ट संख्या (operands) भांडारातून आणून उतरून घेतल्या जातात, की ज्यांवर इष्ट गणिती कृती (उदा. बेरीज) व्हावयाची असते. तिसऱ्या रजिस्टरवर गणिती कृतीचा निकाल (उदा. आलेली बेरीज) लिहिला जातो. गुणाकार, भागाकार यांच्या कृती पार पाडण्याकरता आणखी एक (चौथे) रजिस्टर लागते.

बेरजेची तसेच वजाबाकीची कृती करणाऱ्या सरण्या (Adders, Subtractors, प्रकरण १० पहावे) व त्या कृती योग्य तऱ्हेने पुनः पुनः घडवून गुणाकार, भागाकार करणाऱ्या सरण्या, संख्याधारक मालिकांच्या शेजारी बसविलेल्या असतात, व त्यांना त्या योग्य प्रकारे जोडलेल्या असतात. (आकृत्या १०·६, ११·२ पहाव्यात, तसेच प्रकरण १० मधील संबंधित माहिती पुनः वाचावी).

भांडारात क्रमाने मांडल्या गेलेल्या संख्या योग्य क्रमाने अंकगणित विभागात हलविल्या जाऊन त्यांवर इष्ट गणिती कृती केली जावी, याचे नियंत्रण, नियंत्रण विभागाकडून होते, पण आकडेमोडीत कराव्या लागणाऱ्या नित्याच्या अशा गौण गोष्टींचे नियंत्रण अंकगणित विभागातच स्वयंभूपणे व्हावे अशी योजना असते. उदा. वजाबाकी व्हावयाची असल्यास वजा घालवायच्या संख्येची पूरक संख्या तयार करणे, गुणाकार–भागाकारात संबंधित संख्या डावी-उजवीकडे सरकविणे, तसेच आलेले निकाल भांडारात पाठविणे, या गोष्टी अंकगणित विभाग स्वतः योग्य रीतीने पार पाडतो.

संचालक व्यक्तीने संगणकाचे 'स्टार्ट' ('काम सुरू करा') चे बटण दाबताच

सर्वप्रथम व महत्त्वाची गोष्ट घडते ती म्हणजे संगणकाचे घड्याळ सुरू होते, व त्याचे स्पंद सर्व विभागात पोचू लागतात, आणि ते पुढील सर्व कामाच्या वेळापत्रकाचे नियंत्रण करतात. (प्रकरण १२ मध्ये याविषयी सांगितलेली माहिती आठवावी / पुनः वाचावी).

बाहेरील बाजूने काम सुरू होते ते म्हणजे निवेशनाचे. मजकुराचा मॅग्नेटिक टेप सरकू लागतो, वाचनिक यंत्र त्यावरील मजकुराचे योग्य त्या ' स्पंद-बंदात ' रूपांतर करते व ते स्पंद-बंद स्मृतिभांडारात पोचून मजकुराचे घटक तेथील योग्य त्या पत्त्यांवर उतरून घेतले जातात.

गणिताचा मजकूर सांगण्याचे संपताच ते सोडविण्याचे (Computation चे) काम सुरू व्हावे अशी आपोआपी योजना असते, आणि त्याकरिताची पहिली आवश्यक पायरी म्हणून, सूचनांच्या यादीतील पहिल्या सूचनेच्या पत्त्याचा क्रमांक, सूचना-क्रमांक-धारिणीवर उठतो. येथपासून पुढे, गणित सुटण्याचे आपोआपी (automatic) काम सुरू होते असे म्हणता येते.

गणित सुटताना पुढील गोष्टी क्रमाने घडतात :—

(१) क्रमांक-धारिणीवर मांडलेल्या पत्त्यावरील सूचना-शब्द, भांडारातून आणवून सूचना-धारिणीवर उतरवणे;

(२) त्या शब्दाचा अर्थ लावणे, म्हणजेच त्याचे Interpretation किंवा Decoding करणे व नंतर त्याची अंमलबजावणी करणे; यात पुढील गोष्टी येतात—

(क) भांडारातील कोणत्या स्थानांवर इष्ट संख्या लिहिलेल्या आहेत त्या स्थानांचे पत्ते अवगत करून घेणे; तसेच,

(ख) त्या संख्यांवर कोणती कृती व्हावयाची यासंबंधीची सूचना (operation code) वाचणे व लगेच, अन्वयार्थानुसार त्या सूचनेची अंमलबजावणी करणे. अंमलबजावणी पुढीलप्रमाणे होते—

(ग) सूचनेत दिलेल्या संख्या भांडारातून त्यांच्या पत्त्यांवरून हलवून अंकगणित विभागात पाठविणे, अर्थात् तेथील रजिस्टरांवर त्या उतरविणे, व

(घ) जी गणिती कृती सूचित केलेली असेल ती पार पाडणाऱ्या सरणीला कामाचा संदेश पाठविणे.

(प्रकरण १३ मध्ये वर्णिलेली सूचना-शब्दाची रचना (structure) पुनः पहावी. तेथे संख्या किंवा पुढील सूचना यांचे प्रत्येकी १२ द्विमानांकांचे ३ पत्ते, त्यांच्या डावीकडे ५ द्विमानांकांनी व्यक्त होणारे निर्देशित गणिती कृतीचे सूत्र, व सर्वात डावीकडे समानीकरणाचा अंक अशी एकंदर ४२ द्विमानांकांची मालिका आढळेल).

(३) वरील दोन कलमांतील कृती झाल्यावर पुढीलप्रमाणे घडते :—निर्दिष्ट गणिती कृतीचे काम पूर्ण होताच, ते काम करणाऱ्या सरणीकडून सूचना-क्रमांक-धारिणीला, जी वास्तविक एक गणना-सरणी (counter) असते, तिला एक स्पंद पाठविला जातो. या स्पंदामुळे तिच्यावर (आधी) लिहिलेली संख्या एकाने वाढते, व याचा अर्थ

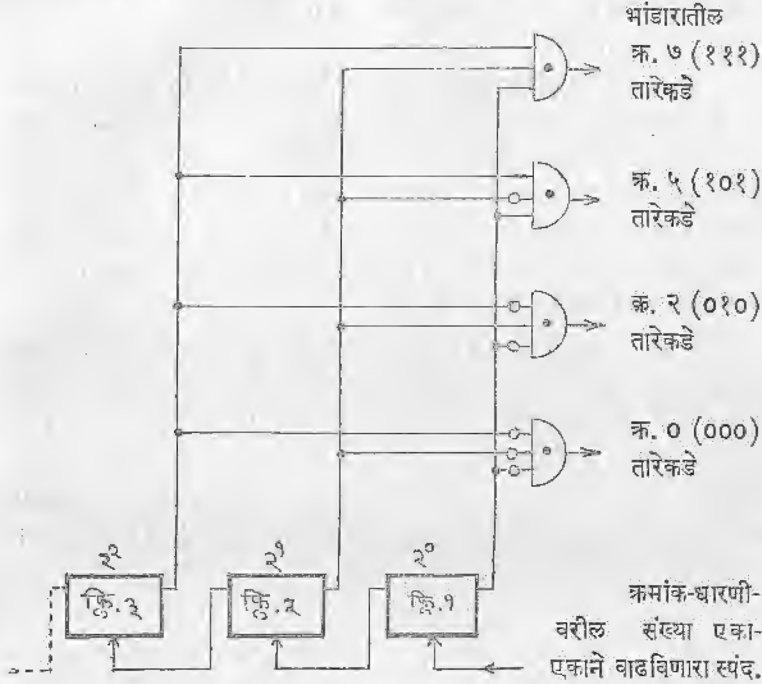
असा होतो की, तिच्यावर आता वेगळा (पुढच्या क्रमांकाचा) पत्ता लिहिला जातो व या बदलाला अनुसरून वरील सर्व घटनांचे दुसरे आवर्तन सुरू होते. काही संगणकांच्या रचनेत क्रमांक-धारिणीला मिळावयाचा स्पंद संगणकाच्या घड्याळाकडूनच परस्पर मिळतो. पण तत्पूर्वी, आणि अर्थात् अशा लागोपाठच्या स्पंदांत, एवढा कालावधी ठेवलेला असतो की, कोणत्याही निर्दिष्ट गणिती कृतीला तो पुरावा.

वरील कलमांतील कामे वेगवेगळी दिसली तरी त्यामागील तत्त्व सामान्यतः एकच आहे; ते म्हणजे, क्रमांक-धारिणीवर असो किंवा सूचना-शब्दात असो, **विशिष्ट क्रमाने मांडलेल्या द्विमानांकांच्या मालिकेचा संपर्क, स्मृतिभांडारातील योग्य त्या विशिष्ट ठिकाणीच कसा साधला जातो याबद्दलची योजना.** ही योजना म्हणजे संगणकाच्या आपोआपी कामगिरीतले एक मोठेच प्रकरण होय. तिचे रहस्य आता समजून घेऊ. उदाहरणादाखल आपण कलम (१) मधील काम कसे होते ते पाहू.

भांडारातील कोणत्याही पत्त्याचा क्रमांक खूप द्विमानांकांच्या मालिकेचा बनलेला असतो, पण विषय समजून घेण्याकरता आपण तो केवळ ६ द्विमानांकांचा असल्याचे समजू व त्या ६ पैकी, पहिल्या ३ द्विमानांकांचा खंड, संग्रहातील संबंधित उभ्या तारेचा क्रमांक दर्शविणारा व शेजारचा उरलेला खंड, आडव्या तारेचा क्रमांक दर्शविणारा असल्याचे समजू. आता, ३ द्विमानांकांच्या भिन्नभिन्न जुळण्यांनी ० ते ७ हे केवळ ८ दशमान अंक व्यक्त होतात हे आपणांस विदित आहे. तेव्हा, प्रस्तुतच्या उदाहरणातील आपल्या भांडारात फक्त ८ उभ्या व ८ आडव्या तारा आहेत (आणि ओघानेच, केवळ ६४ पत्त्यांची स्थाने आहेत) असा निष्कर्ष निघतो. योग्य त्या उभ्या तसेच आडव्या तारेशी एकाच वेळी संपर्क जुळला की त्या तारांच्या संगमावरच्या इष्ट स्थानाशी संपर्क जुळेल हे उघड आहे. (प्रकरण १३ मध्ये सांगितलेला याविषयीचा तपशील आठवावा). आपण येथे फक्त एकाच (समजा, उभ्या तारेचा विचार करू; आडव्या तारेच्या बाबतीत मग तेच विवेचन लागू होईल.

सूचनाक्रमांक-धारिणीवरील संबंधित ३ द्विमानांक धारण करणाऱ्या ३ फ्लिप्-फ्लॉप् ची उद्गते, त्या द्विमानांकांनी व्यक्त होणाऱ्या क्रमांकाच्या तारेला (आणि फक्त त्याच तारेला) कशी जोडली जातात हे येथे पाहायचे आहे. थोडक्यात, या फ्लिप्-फ्लॉप् पासून वेळोवेळी निघणारे स्पंद, योग्य त्याच निर्दिष्ट स्थानाला (destination ला) पोचावेत याची ' निवड ' कशी केली जाते, किंवा दुसऱ्या शब्दात, Address selection कसे केले जाते, हे पाहायचे आहे. याकरिता केलेली रचना अशी असते :– तीन्ही उद्गते भांडारातील प्रत्येक तारेला वेगवेगळी जोडलेली असतात, पण जोडणी सरळसोट नसते. प्रत्येक जोडणीत एकएक AND द्वार बसविलेले असते, व विशेष म्हणजे, एखाद्या फ्लिप्-फ्लॉप् कडून परिस्थितिनुसार शून्य स्पंद निघत असेल तेव्हाही त्या मार्गावरील AND द्वाराला स्पंद मिळावा म्हणून मध्ये एक इन्व्हर्टर (स्पंदाच्या अभावाचे स्पंदाच्या अस्तित्वात रूपांतर करणारा एक ट्रॅन्झिस्टर) बसविलेला असतो.

जरुरीनुसार बसविलेला इन्व्हर्टर व AND द्वार यांचा अंतर्भाव हेच या जोडणीचे रहस्य आहे! आकृती १५·२ पहावी. (लहान पोकळ वर्तुळाने 'इन्व्हर्टर' अर्थात NOT सरणी दर्शविली जाते. आकृती ९·३ मध्ये हे मागेच दर्शविले आहे.) रेषांची गर्दी टाळण्याकरता, आकृती १५·२ मध्ये एकंदर ८ जोडण्यांपैकी फक्त ४ च दाखविल्या



आकृती १५·२ **फिलप्-फ्लॉप् मालिकेवरील संख्येने दर्शविलेल्या नेमक्या स्थानाशी संपर्क जोडण्याची योजना.**

आहेत. आकृतीवरून त्यांच्या कार्याची कल्पना येईलच; पण खुलाशाच्या दृष्टीने, संग्रहातील क्र. ५ च्या तारेशी संपर्क साधणाऱ्या जोडणीचे (आकृतीतील वरून दुसरी जोडणी, तिचे) कार्य कसे घडत असेल ते उदाहरणार्थ पाहू :-

ज्यावेळी प्रस्तुत ३ फिलप्-फ्लॉप्च्या मालिकेवर ५ हा अंक लिहिला गेला असेल त्यावेळी स्मृति-संग्रहातील फक्त क्र. ५ च्या तारेशी संबंध जुळावा हे अपेक्षित आहे. पण मालिकेवर ५ हा अंक लिहिलेला असतो म्हणजे कोणती परिस्थिती असते? तर यावेळी त्या फिलप्-फ्लॉप्स्वर क्रमाने १, ०, १ हे द्विमानांक लिहिलेले असतात, म्हणजेच कडेच्या दोन फिलप-फ्लॉपमधून उद्गत-स्पंद निघतात, पण मधल्यातून स्पंद निघत नाही, किंवा 'बंद' निघतो. या वेळी मग या बंदतून स्पंद निर्माण करण्याकरता,

मधल्या फ्लिप्-फ्लॉप् पासून निघणाऱ्या तारेवर एक इन्व्हर्टर बसविला आहे. तीनपैकी एकाच, आणि तेही मधल्या, फ्लिप्-फ्लॉपच्या उद्गताला जोडलेल्या तारेवर इन्व्हर्टर बसविलेली रचना ही संग्रहातील फक्त ५ क्रमांकाच्या तारेला जोडलेली आहे हे नीट ध्यानी घ्यावे. यामुळे मग पुढच्या AND द्वाराला आवश्यक ते सर्व ३ स्पंद पोचून ते उघडते व फक्त क्र. ५ च्या तारेशी संबंध जुळतो. बाकीच्या जोडण्यांचे कार्यही या खुलाशावरून ध्यानी येईल.

नेमक्या इष्ट त्याच पत्त्यावरचा मजकूर 'वाचला' जाण्याकरता योजलेलेली यंत्रणा आपणास समजली. अशीच यंत्रणा इष्ट मजकूर इष्ट त्याच पत्त्यावर 'लिहिला' जाण्याकरता राबविली जाते, मग ते 'लेखन' त्वरा-संतुलक सरण्यांवर उतरलेल्या मजकुराचे स्मृति-भांडारातील नियोजित पत्त्यांवर व्हावयाचे असो, किंवा भांडारातून अंकगणित विभागातील रजिस्टरांवर व्हावयाचे असो; किंवा यांच्या उलट दिशेने मजकुराची पाठवणी व्हावयाची असो, साधले जाते ते हे की, असंख्य जुळण्यांच्या जंजाळातून फक्त नियोजित स्थानीच मजकुराची पाठवणी होते.

संग्रहाच्या आडव्या तारांशी संपर्क जोडणारी योजना वरील योजनेचीच दुसर आवृत्ती असते. आणि या दोन्ही योजनांना मिळणारी स्पंदरूपी चेतना, (ती अंकगणित विभागाकडून येवो, किंवा सार्वजनिक घड्याळाकडून येवो) एकाच वेळी येत असल्याने, त्या एकाच वेळी कार्यान्वित होतात व परिणामतः संग्रहातील इष्ट स्थानावरील शब्द 'वाचला' जातो. (वाचकांनी प्रकरण ११ मधील द्विमान-गणना सरणीची– Binary Counterची– माहिती इष्ट तर पुनः वाचावी व आकृत्या ११·३, ११·४ पाहाव्यात. सूचना-क्रमांक-धारिणी ही मूलतः एक गणना सरणीच आहे. येथे तिच्या पुढील उपयोगाची माहिती सांगितली आहे.)

सूचना-शब्दात (Instruction word मध्ये) पत्त्यांचे म्हणून दिलेले द्विमानांकांच्या मालिकांचे खंड, किंवा गणिती कृती सुचविणारी ५ द्विमानांकांची मालिका यांच्या बाबतीतही 'अन्वयार्थ लावून त्यानुसार कृती' (decoding or interpretation and execution) वरीलसारख्या योजनांनीच केली जाते.

सारांश, संचालक व्यक्तीने, गणित सुटण्यासंबंधीच्या, तपशिलवारीने आखून दिलेल्या सर्व कृती संगणकाच्या अंतरंगात योग्य क्रमाने व अत्यल्प वेळात पार पडतात. हे कसे घडते याचे मर्म या प्रकरणातील विवेचनावरून ध्यानी आले.

प्रकरण : १६

सूक्ष्म-वीजक-विज्ञान (Microelectronics) या विज्ञानशाखेतील आधुनिक प्रगती

संकलित सरण्या (Integrated Circuits).

मॅग्नेटिक बबल्स (Magnetic Bubbles).

संगणकाच्या अंतर्रचनेमध्ये संशोधनपूर्वक सुधारणा घडवून त्याची उपयुक्तता वाढविण्याचे सतत चाललेले प्रयत्न हा संगणक-विज्ञानातील प्रगतीचा एक भाग गेल्या प्रकरणी उल्लेखला. पण यापेक्षा मूलभूत बाबतीतही प्रगती चालू आहे. या साधनाच्या रचनेत लागणारे घटक (Components) अधिकाधिक सूक्ष्म आकाराचे, पण बिनचूक काम करणारे, तयार करण्याकडे संशोधनाचा रोख वळलेला आहे. Micro-electronics—' सूक्ष्म वीजकविज्ञान ' किंवा सूक्ष्माकार वीजकीय साधने निर्मिण्याचे एक नवे तंत्र उदित झाले आहे ! ' संकलित स्वरूपातील सरण्यां 'ची निर्मिती ही त्यापैकी एक शाखा होय. या सरण्यांना इंग्रजीत ' Integrated Circuits, संक्षेपाने I. Cs. म्हणतात. या शाखेतील संशोधन प्रायः पूर्ण झाल्याचे समजता येईल. Magnetic Bubbles संबंधीचे चालू असलेले संशोधन ही या विज्ञानाची दुसरी एक शाखा. या विज्ञानशाखांची त्रोटक माहिती पुढे दिली आहे.

संकलित सरण्या* (Integrated Circuits)

संगणकातील विविध सरण्यंत उपयोजिले जाणारे ट्रॅन्झिस्टर, डायोड, रोधक (resistors), धारक (capacitors) हे घटक एक एक घेऊन जोडून त्या सरण्या सिद्ध होत असल्याचे प्रस्तुत पुस्तकांत येथवर सांगितले आहे. पण सध्या निर्माण होत असलेल्या नव्या पिढीच्या संगणकांच्या बाबतीत, ही सुट्टे (discrete) घटक घेऊन जोडण्याची यातायात करावी लागत नाही, तर इष्ट कृती करणाऱ्या ' संकलित स्वरूपातील सरण्या 'च मिळू शकतात ! या ' तयार ' सरण्यांमध्ये उपरोक्त जरूर ते घटक योग्य रचनेत बसविलेले अंतर्भूत असतात. एका दृष्टीने या तयार सरण्यांनाच यापुढे संगणकाचे

---

* प्रकरण १० मधील संकलक सरण्यांशी (Adders शीं) यांची गल्लत करू नये.

'सुट्टे घटक' म्हणणे योग्य ठरते. या सरण्यांचे दुसरे वैशिष्टय म्हणजे यांचा सूक्ष्म आकार, की ज्यामुळे, संपूर्ण संगणकाच्या आकारमानामध्ये कल्पनातीत कपात शक्य झाली आहे!

संगणकाच्या पहिल्या पिढीतील थर्मिऑनिक व्हाल्व्ह उपयोजून केलेल्या सरण्यांपेक्षा दुसऱ्या पिढीतील सुट्टे ट्रॅन्झिस्टर, डायोड यांच्या सरण्यांना वीजपुरठा बराच कमी लागतो. संकलित सरण्यांना तो आणखी कमी असलेला पुरतो. शिवाय, या सरण्यांच्या कार्याची विश्वासार्हताही अधिक आहे. नुसत्या संगणकाच्या निर्मितीमध्ये नव्हे तर सर्वच वीजकीय साधनांच्या निर्मितीमध्ये या सरण्यांमुळे फार मोठी सुलभता आली आहे, क्रांती झाली आहे! पण या अद्‌भुत सरण्यांच्या निर्मितीचे तंत्र हे सर्वथा नवीन नाही; सुट्टे ट्रॅन्झिस्टर, डायोड यांच्या निर्मिती-तंत्राचीच ती प्रगत अवस्था आहे. पुढे या तंत्रातील महत्त्वाच्या बाबी त्रोटकपणे सांगितल्या आहेत. त्या वाचण्यापूर्वी, प्रकरण ७ मधील P, N प्रकारांच्या अर्धवाहक धातुमिश्रणांविषयीची माहिती पुनः वाचणे उपयुक्त ठरेल.

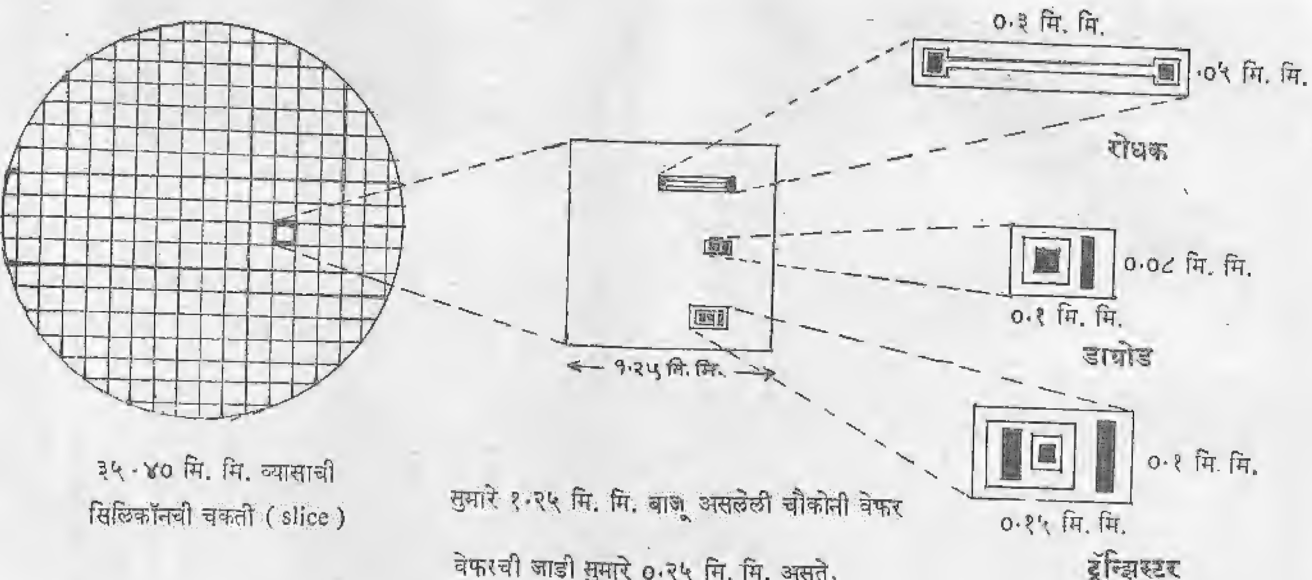
संकलित सरण्यांच्या (Integrated Circuits च्या) निर्मिति-तंत्रातील महत्त्वाच्या बाबी

१. ट्रॅन्झिस्टर, रिझिस्टर, कपॅसिटर, वगैरे आवश्यक त्या ४०–५० घटकांच्या विशिष्ट रचनेची सरणी हे एक युनिट समजल्यास, तिच्या ५०० पर्यंत प्रतिकृती एकाच वेळी तयार होतात. ग्राफ-पेपरच्या चौकटीप्रमाणे शेजारी-शेजारी असलेल्या चौकोनी आकृतीच्या एकेका क्षेत्रात एकेक युनिट तयार होते; व प्रत्येकाचे क्षेत्रही, ग्राफ-पेपरच्या चौकटीइतकेच लहान–सुमारे १। मि. मि. चौरसाचे– असते ! आकृती १६·१ पहावी.

२. इष्ट त्या P किंवा N प्रकाराने मिश्रित असलेल्या सिलिकॉन् धातूच्या स्फटिकाच्या ३५ ते ४० मि. मि. व्यासाच्या रुळातून आडव्या कापलेल्या, अत्यंत पातळ अशा म्हणजे सुमारे $\frac{1}{4}$ मि. मि. जाडीच्या चकतीवर (Slice वर) या चौकटी सिद्ध होतात.

३. नियोजित **युनिट सरणीमधील** ट्रॅन्झिस्टर, डायोड, रोधक आदि **घटकांच्या वीजवाहकतेची / रोधकतेची मूल्ये इष्ट तेवढीच ठेवण्याची योजना करणे, हेच सरणीच्या निर्मितीमधील मुख्य काम म्हणता येते.** ही मूल्ये त्या घटकांच्या लांबी, रुंदी इ. आकृति-विशेषांवर अवलंबून असतात, तसेच, त्या सूक्ष्म आकृतींच्या खालच्या थरांत (इलेक्ट्रॉन्स, किंवा 'पोकळ्या' हे वीजवाहक पुरवणाऱ्या, अनुक्रमे) फॉस्फरस आणि बोरॉन् यांच्या अणूंचे प्रमाण किती आहे, व ते अणु किती खोलवर विखुरले आहेत यांवर, म्हणजेच थोडक्यात आकृतींच्या जाडीवर अवलंबून असतात.

४. हे पाहुणे अणू त्या त्या घटकाच्या विशिष्ट आकृतीच्या प्रदेशात घुसविण्याकरता, ते प्रदेश उच्च तपमानात या अणूंच्या संयुगांच्या (उदा. फॉस्फरस्‌च्या अणूंकरिता 'फॉस्फरस-ऑक्सिक्लोराइड' व बोरॉनच्या अणूंकरिता 'बोरॉन् ट्रायब्रोमाइड' यांच्या) वाफेच्या दाबाखाली ठराविक काळपर्यंत ठेवण्याची योजना असते. यामुळे हे



आकृती १६·१ संकलित सरणीची (Integrated Circuit ची) रचना व तिचा सूक्ष्म आकार दर्शविणारी आकृती.

अणू चकतीच्या पृष्ठभागात इष्ट त्या खोलीपर्यंत 'विलुरतात ' (diffuse होतात). आता या विशिष्ट प्रदेशांच्या मर्यादा कशा संभाळायच्या हा प्रश्न उद्भवतो, त्याकरता पुढील तंत्रे योजतात :

५. एखादे बहुरंगी चित्र स्प्रे-पेंटिंगने काढावयाचे असल्यास, वेगवेगळे रंग चित्रावर जेथे जेथे बसवायचे असतील, तेवढयाच जागा कापलेल्या वेगवेगळया जाळया (masks) तयार कराव्या लागतील, तशा जाळया तयार करून या कामी वापरतात. प्रथम विशिष्ट प्रकारे कापलेली मोठया पण प्रमाणबद्ध आकाराची जाळी घेऊन फोटो-लघुकरण तंत्राने (photo-reduction ने) तिचे इतक्या लहान आकाराचे एक चित्र तयार करतात, की ते, उपरोक्त ग्राफ्-पेपरच्या एका चौकटीत सहजतेने मावते. नंतर फोटो तंत्राच्याच सहाय्याने, ग्राफ्-पेपरच्या सर्व चौकटी त्याच रीतीने व्यवस्थितपणे भरणाऱ्या, त्या लहान चित्राच्या प्रतिचित्रांची (multiples ची) एक सामूहिक जाळी तयार करतात. ही जाळी उपरोक्त सिलिकॉनच्या चकतीला पूर्णपणे झाकेल एवढी मोठी असते. (आकृती १६·१ पहावी.) ही झाली एका रंगाकरिताची किंवा एका प्रकारची सामूहिक जाळी. इतर प्रकारांनी कापलेल्या आवश्यक त्या जाळया याचप्रमाणे तयार करतात. आता यापैकी योग्य ती जाळी चकतीवर ठेवून जाळीखालच्या उघडया क्षेत्रावर इष्ट प्रक्रिया करता येते, पण त्याकरता चकतीवर विशेष आच्छादने घालावी लागतात. त्यांचे तंत्र पुढीलप्रमाणे आहे :

६. सुरुवातीस व दर अणु-विलरण क्रियेनंतर (diffusion process नंतर), सिलिकॉन्‌ची ती चकती उष्ण तपमानात ठेवून तिच्यावर ऑक्सिजन् किंवा गरम वाफ यांचा दाब नियोजित वेळ राहू देतात. यामुळे तिच्या अवघ्या पृष्ठभागावर सिलिकॉन् डाय् ऑक्साइड्‌चा इष्ट त्या जाडीचा थर तयार होतो. हा थर अणु-विलरण (diffusion of atoms) क्रियेच्या दृष्टीने अभेद्य असतो. तेव्हा यातील योग्य तेवढाच भाग ठेवून बाकीचा काढून टाकावयाचा असतो. जो भाग काढून टाकावयाचा असेल त्यावर हायड्रोफ्लुओरिक ॲसिडच्या द्रावणाची विक्रिया घडवून तो उडवून लावता येतो. सिलिकॉन्‌च्या ऑक्साइड्‌वर या ॲसिडची विक्रिया होते; पण सिलिकॉन् धातूवर (जरी तो फॉस्फरस, बोरॉन यांच्या अणूंनी अत्यल्प प्रमाणात मिश्रित असला तरी) या ॲसिडचा परिणाम होत नाही. येथे आणखी एक गोष्ट लक्षात घ्यावी की, सिलिकॉन् डाय् ऑक्साइड् हा पदार्थ वीजप्रवाहाच्या दृष्टीने दुर्वाहक (insulator) आहे. ऑक्साइड्‌च्या अभेद्य थरात योग्य त्याच आकाराच्या खिडक्या (windows) चकतीच्या पृष्ठभागापर्यंत पडाव्यात हे आपले उद्दिष्ट आहे. खिडक्यांच्या आकारांच्या फटी असलेल्या जाळया उपलब्ध आहेत. पण त्या तशाच्या तशा वापरल्याने कार्यभाग होणार नाही हे उघड आहे, कारण उपरोक्त द्रव ॲसिड फटीखाली असलेला व नसलेलाही ऑक्साइड्‌चा थर विरघळवून टाकील. ही अडचण पुढील युक्तीने निवारली जाते.

७. सिलिकॉन् डाय् ऑक्साइड्‌च्या थरावर एक विशिष्ट वार्निश लावतात. हे

वार्निश वाळण्याकरता त्यावर अल्ट्राव्हायोलेट किरण सोडावे लागतात, व वार्निशाचा या किरणांखाली वाळतो तेवढाच भाग पक्का वाळतो, आणि यानंतर वापरल्या जाणाऱ्या विशिष्ट विद्रावकामध्ये (Solvent मध्ये) न विरघळता राहतो. किरणांखाली न येणारा (कच्चा वाळलेला) भाग विद्रावकाने धुतला जातो. मात्र किरणांखाली पक्क्या वाळलेल्या वार्निशच्या पृष्ठभागावर विद्रावकाची तर नाहीच, पण हायड्रोफ्लुओरिक् ॲसिडचीही प्रक्रिया होत नाही ;

या शास्त्रीय प्रयुक्त्या हाती असल्यानंतर, वर उल्लेखलेल्या जाळ्यांचा उपयोग कसा करता येईल हे सहज ध्यानी यावे. वार्निशवर अल्ट्राव्हायोलेट किरण पाडताना, ते विशिष्ट जाळीतून (mask मधून) पाडून, वार्निश व त्याखालील ऑक्साइड् यांच्या थरांचे नको असतील तेवढेच भाग रेखीवपणे काढून टाकणे शक्य होते, व सिलिकॉन्‌च्या चकतीचा नियोजित तेवढाच पृष्ठभाग नंतरच्या प्रक्रियांना उघडा (उपलब्ध) होतो. सरणी तयार होतानाच्या एकंदर कृतीमध्ये ऑक्साइड्‌चे थर (व अर्थातच त्यावरील वार्निशचे थर, हे) ३/४ वेळा बसवावे आणि काढावे लागतात.

८. योग्य अणूंच्या विखरणाने तयार झालेले रिझिस्टर, ट्रँझिस्टर आदि घटक एकमेकांना जोडणाऱ्या रेषांवर, तसेच त्या घटकांची अग्रे जेथे बाहेरच्या वीजप्रवाहाशी जोडली जावयाची असतात त्या स्थानांवर (संपर्क बिंदूंवर, Contact points वर) ॲलुमिनियम धातूची वाफ सोडून संघनित केली जाते. हे कामही योग्य ती जाळी वापरूनच केले जाते. ॲलुमिनियमच्या पातळ अरुंद थराच्या बनलेल्या या रेषा व हे संपर्क बिंदू अर्थातच सुवाहक असतात. आकृति १६·२ मध्ये वरील प्रक्रियांनी सिद्ध केलेला एक ट्रँन्झिस्टर दाखविला आहे. ट्रॅन्झिस्टरमधील वेगवेगळे थर, ऑक्साइडची आच्छादने व संपर्कबिंदू इ. नीट पहावे.

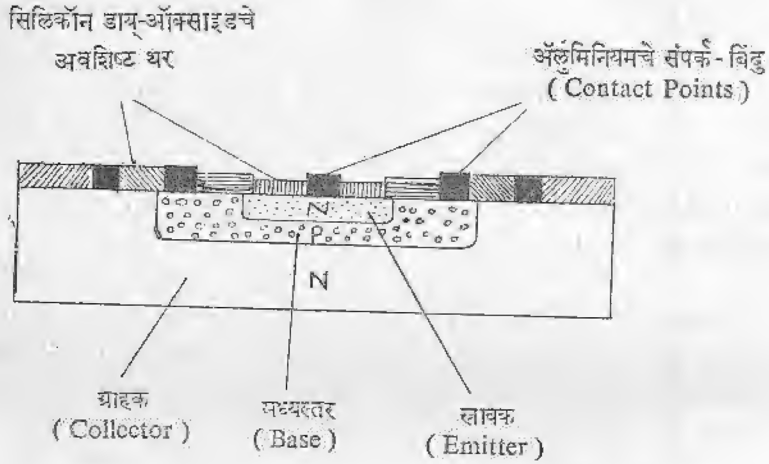
९. सिलिकॉन्‌च्या चकतीवर, येणेप्रमाणे शेजारी शेजारी व अगदी एकसारख्या अनेक सरण्या सिद्ध झाल्यावर त्यांपैकी प्रत्येकीची अपेक्षित कार्याच्या दृष्टीने परीक्षा केली जाते. नापास सरण्या नंतरच्या प्रक्रियांतून वगळतात.

१०. परीक्षेनंतर, सरण्यांच्या सीमांवर–म्हणजेच उपरोक्त चौकटीच्या रेषांवर–सूक्ष्म हिरकणीने चरे पाडून, काचेचे तुकडे करावेत तसे चकतीचे तुकडे करतात. या तुकड्याला तांत्रिक भाषेत ' वेफर ' (wafer) म्हणतात. प्रत्येक पास वेफरवर एक पूर्ण सरणी तयार असते !

११. वेफरच्या प्रत्येक संपर्क-बिंदूवर सोन्याच्या सूक्ष्म तारेच्या तुकड्याचे एकेक टोक झाळून बसवतात. नंतर वेफर योग्य आकाराच्या प्लॅस्टिकच्या आवरणात न हलेल अशी व तिला कसलाही धक्का लागणार नाही अशी बसवतात, व आवरणाला प्लग्-पिन् सारखी जी वीजाग्रे जोडलेली असतात. त्यांना वेफरपासून निघालेल्या सुवर्णतारांची दुसरी टोके योग्य रीतीने झाळतात, अखेरीस सरणी हवाबंद आवरणात बसवितात. या टप्प्याला तांत्रिक भाषेत (encapsulation) म्हणतात.

एक संकलित सरणी याप्रमाणे सिद्ध होते !

आकृती १६·२ मध्ये अणु-विखरण (diffusion) तंत्राने सिद्ध केलेल्या एका NPN ट्रॅन्झिस्टरचा छेद दाखविला आहे. येथे वेफरची जाडी किती कमी आहे ते पहावे; पण त्याहीपेक्षा, बेस, एमिटर, यांचे थर किती सूक्ष्म जाडीचे आहेत ते पहावे. तसेच वेफरच्या पृष्ठभागावर सिलिकॉन ऑक्साइडचे थर पुनः पुनः बसवावे आणि काढावे लागल्याचे दर्शविले आहे ते ध्यानी घ्यावे.



आकृती १६·२ : सिलिकॉनच्या पातळ वेफरमध्ये टप्प्याटप्प्याने वेगवेगळ्या अणूंचे विखरण (diffusion) करून तयार केलेल्या ट्रॅन्झिस्टरचा छेद.

हे चित्र प्रमाणबद्ध नाही. वेफरची जाडी सुमारे ¼ मि. मि. म्हणजेच सुमारे २५० मायक्रॉन आहे, तर बेस व स्रावक (emitter) यांचे थर अनुक्रमे केवळ १ व १॥ मायक्रॉन जाडीचे आहेत! प्रत्येक विखरण-क्रियेपूर्वी वेफरच्या पृष्ठभागावर सिलिकॉन् डाय् ऑक्साइडचा (आणि त्यावर वॉर्निशचा) थर बसवून त्यापकी नको तेवढाच भाग काढून टाकावा लागतो. अशा एकेका टप्प्यानंतर उरलेले या थराचे अवशिष्ट भाग वेगवेगळे कळावेत असे दाखविले आहेत.

ही झाली या सरण्यांच्या निर्मितीविषयीची त्रोटक माहिती. त्यांच्या उपयोगितेविषयी सांगायचे, तर कोणत्याही लहानमोठ्या वीजकीय उपकरणाच्या रचनेत आता त्या अनिवार्यतेने वापरल्या जातात असे म्हणावे लागेल. सुट्टे ट्रॅन्झिस्टर, डायोड इ. घटकांचा उपयोग आता क्वचितच होतो.

आता सूक्ष्मवीजकविज्ञानाच्या दुसऱ्या शाखेकडे वळू :—

मॅग्नेटिक बबल्स्— चलशील कर्षुकित केंद्रे—

वीजसरण्यांच्या जुळण्यांकरता लाखांवारी लागणारे सुटे घटक एक एक घेऊन जोडण्याच्या यातायातीपासून आता सुटका लाभली आहे. तसेच, फार उपयुक्त असे सूक्ष्मीकरणही त्या विषयात शक्य झाले आहे. संगणकाच्या मुख्य संग्रहामध्ये तशाच मोठ्या संख्येनें लागणाऱ्या फेराइट्च्या सुट्या कड्यांबाबतही या महत्त्वाच्या सोयी लवकरच शक्य होतील असा शास्त्रज्ञ-तंत्रज्ञांचा कयास आहे. या विज्ञानशाखेत अद्याप संशोधन चालू आहे, आणि तांत्रिक स्वरूपाच्या संशोधनाबरोबरच, पदार्थांमधील कर्षुकतेविषयीचे मूलभूत स्वरूपाचे संशोधनही होत आहे. सध्या ज्ञात असलेल्या शास्त्रीय सत्यांचा व त्यांवर आधारित तंत्रांचा अगदी त्रोटक गोषवारा पुढे दिला आहे :

अणुकेंद्राभोवती अतिवेगाने प्रदक्षिणा घालणाऱ्या इलेक्ट्रॉन्चा (वीजकाचा) प्रदक्षिणामार्ग हा जणू विजेच्या तारेचे एक कडे (loop) आहे असे समजता येते. भ्रमण करणाऱ्या इलेक्ट्रॉनच्या रूपाने त्या कड्यातून वीज वाहात असते, व या वीज-प्रवाहामुळे, कड्याच्या मध्यातून जाणाऱ्या आडव्या रेषेवर ज्याची अग्रे (poles) आहेत असा एक कर्षुक व त्याचे कर्षुकक्षेत्र निर्माण होते. अणूतील सर्व इलेक्ट्रॉन्सच्या आपापल्या कक्षांमधून होणाऱ्या भ्रमणांमुळे निर्माण होणाऱ्या क्षेत्रांचे एक परिणामी (resultant) कर्षुकक्षेत्र व त्याची परिणामी दिशा ठरते. लोह, फेराइट् इ. कर्षुकशील पदार्थांच्या बाबतीत असे परिणामी क्षेत्र उरते. इतर अणूंच्या (किंवा रेणूंच्या) बाबतीत परिणामी क्षेत्र शून्य असते.

कर्षुकशील पदार्थातील कर्षुकक्षेत्राची दिशा ही, त्या त्या पदार्थाच्या स्फटिकाच्या अक्षांच्या अनुषंगाने काही विशिष्ट मोजक्या दिशांपैकी एक असते. यामुळे, अशा पदार्थातील शेजारशेजारच्या अणुसमूहांच्या कर्षुकतेच्या दिशा वेगवेगळ्या असू शकतात व एका अणुसमूहापासून काही अंतरावरच्या दुसऱ्या अणुसमूहाच्या क्षेत्राची दिशा पहिल्याच्या दिशेच्या पूर्ण विरुद्ध असू शकते. एकेका अणुसमूहात काही कोटी अणु/रेणू असतात. अशा एकेका अणुसमूहाच्या कर्षुकक्षेत्राला तांत्रिक भाषेत डोमेन (Domain) म्हणतात. पदार्थातील डोमेन्सच्या दिशा याप्रमाणे सामान्यतः परस्परविरुद्ध असल्याने, असा पदार्थ मूलतः कर्षुकशील असूनही, त्यामध्ये परिणामी उपलब्ध असे कर्षुकत्व नसते. मात्र बाहेरून लावलेल्या दुसऱ्या कर्षुकक्षेत्राच्या प्रभावाने असा पदार्थ कर्षुकित होतो (magnetized होतो.)

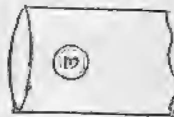
कर्षुकशील पदार्थांमध्ये फेराइट्चे आणखी वैशिष्ट्य आहे. त्याच्या स्फटिकातील अणुसमूहांच्या क्षेत्रांची दिशा स्फटिकाच्या एकाच अक्षाशी समांतर असते. याचा अर्थ, स्फटिकातील एका समूहाच्या बनलेल्या कर्षुकाची अग्रे, समजा पूर्व आणि पश्चिम या दिशांना रोखलेली असतील, तर शेजारच्या समूहाच्या बनलेल्या कर्षुकाची तीच अग्रे, पूर्व आणि पश्चिम दिशांना किंवा थेट उलट, पश्चिम आणि पूर्व दिशांना रोखलेली असतात. अधल्यामधल्या कोणत्याही दिशेकडे ती रोखलेली नसतात. शेजार शेजारच्या









आकृती १६·३ मॅग्नेटिक बबल्स् अर्थात् सरकविता येणारी सूक्ष्म कर्षुकित केंद्रे.

अ कर्षुकशील असलेल्या पण कर्षुकित न झालेल्या पदार्थाच्या चकतीच्या पृष्ठभागावरील परस्पर विरुद्ध ध्रुवता असलेल्या रेणुसमूहांचे बनलेले नागमोडी पट्टे. ब शक्तिशाली विद्युत्कर्षुकाची अग्रे. या अग्रांमध्ये वरील कर्षुकशील पदार्थाची चकती धरून कर्षुकक्षेत्राची तीव्रता शून्य, बेताची व पर्याप्त मोठी ठेवल्यास चकतीवर होणारे परिणाम क, ड, इ मध्ये दर्शविले आहेत. इ मध्ये उरलेले सूक्ष्म तुरळक प्रदेश हे मॅग्नेटिकबबल्स् होत.

समूहांची कर्षुकाग्रे याप्रमाणे परस्परविरुद्ध दिशांना असल्याने पदार्थाचे परिणामी कर्षुकत्व शून्य असते. या दिशांना काटकोनात असलेल्या एखाद्या प्रतलावर या कर्षुकांचे (अर्थात् त्यांच्या क्षेत्रांचेही) आडवे छेद शेजारीशेजारी येतात, व समदिक् क्षेत्रांचे छेद जोडल्याने तयार होणाऱ्या आकृतीचे (design चे) स्वरूप हे ' एकमेकी शेजारच्या सारख्या रुंदीच्या पट्ट्या (strips) नागमोडीप्रमाणे अनेक ठिकाणी वळत राहून, त्यांनी सर्व प्रतल व्यापल्यास जसे दिसेल ' तसे असते. आकृती १६·३ अ पहावी.

अशा परिस्थितीत, उपरोक्त आडव्या प्रतलाला समांतर पृष्ठभाग असलेली फेराइट्ची एक पातळ चकती घेऊन, तिच्याशी लंब दिशेत (म्हणजेच चकतीतील स्फटिकांच्या अक्षांच्या दिशेत) असणारे एक कर्षुकक्षेत्र आकृती १६·३ ब मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे तिच्या खालून वरून लावले तर काय चमत्कार घडतो तो पहा. या बाहेरच्या क्षेत्राचा प्रभाव सुरू होण्यापूर्वी चकतीत कर्षुकतेचा अभाव असतो; आ. १६·३ क, (कारण परस्परविरुद्ध दिशांतील कर्षुकतांची वजावट झालेली असते). पण बाहेरच्या क्षेत्राची तीव्रता वाढू लागताच, त्याच्या विरुद्ध दिशा असलेले चकतीतले क्षेत्र संकोच पावू लागते, आ. १६·३ ड, व त्याच्या वेड्यावाकड्या पट्ट्यांची लांबी, रुंदी कमी होत होत, शेवटी त्यांची असंख्य तुटक बेटे बनतात, आ. १६·३ इ. या बेटांचा मात्र अधिक संकोच शक्य नसतो. एकेक बेट हे त्या चकतीत आरपार बसविलेल्या एखाद्या सूक्ष्म, आखुड रिव्हिटच्या खिळ्याच्या आकृतीचे असते, की ज्या खिळ्याची लांबी चकतीच्या जाडीइतकी असते.

या वर्णनाचा भावार्थ असा की, बाहेरच्या प्रभावी कर्षुक-क्षेत्राच्या विरुद्ध दिशा असलेले चकतीमधले क्षेत्र संकोचते व उपरोक्त खिळ्याच्या किंवा सूक्ष्म वृत्तचितीच्या (cylindrical) आकृतीच्या असंख्य प्रदेशांमध्ये विखुरले जाते. या विखुरलेल्या सूक्ष्म प्रदेशांनाच Magnetic Bubbles म्हणतात. फेराइट्च्या केवळ २ मि.मि. × २ मि.मि. च्या चौकोनी व अतिपातळ वेफरमध्ये असे सुमारे १०,००० बबल्स निर्माण होऊ शकतात ! अशा वेफरला तिच्या कडेच्या बाजूने आणखी दुसरी योग्य कर्षुकीय क्षेत्रे लावून या बबल्स्चे–बुडबुड्यांचे– इष्ट तसे स्थलांतरही घडवता येते. स्पिरिट लेव्हलमधील बुडबुड्याची जागा लेव्हलची नळी किंचित तिरपी करून चाळवता येते त्यासारखीच ही कृती म्हणता येते. मात्र येथे या दोन घटनांतील एक फरक अवश्य लक्षात घ्यावा. लेव्हलनळीच्या बाबतीत बुडबुड्यातील हवा या वस्तूचे प्रत्यक्ष स्थलांतर होते. मॅग्नेटिक् बबल्स्च्या बाबतीत कोणत्याही वस्तूचे (matter चे) स्थलांतर होत नाही. येथे वेफरच्या बाहेरून लावलेल्या प्रमुख कर्षुकक्षेत्राच्या विरुद्ध असलेल्या क्षेत्राच्या केंद्रित अवस्थेचे स्थान, वेफरमध्ये एका ठिकाणाहून दुसरीकडे सरकते येवढेच. पुढे, वेफरमधील एका स्थानचे अमूक इतके बबल्स् अमुक मार्गाने (दिशेने) दुसऱ्या इष्ट स्थानी एका पाठोपाठ सरकावेत, किंवा त्यांची ही सरक चालू असताना, मधलेच काही बबल्स् वाटेतल्या लहानशा फाट्यात योजनापूर्वक अडकवून ठेवून खंडित झालेला बबल्स्चा कारवा पुढे चालू रहावा अशा योजना व तंत्रे प्रायः सिद्ध झाली आहेत. येवढे शक्य झाल्यावर, प्रत्येक बबलला समजा " १ " हे अंकीय मूल्य असल्याचे समजणे व त्यांच्या माळेतील फटीला " ० " हे मूल्य असल्याचे समजणे हे काम उरते. आपण मागे प्रकरण १२ मध्ये वाचलेल्या सरक-सरणीचेच काम करणारे हे एक नवे तंत्र प्रस्थापित झाले ! अंकीय माहिती ' धारण करणे ' व इष्ट तेव्हा इष्ट तिकडे ती ' सरकवणे ' (to store and transfer digital information) हे अभीष्ट साध्य झाले ! २ मि. मि. चौरस क्षेत्रफळावर सुमारे

१०,००० बबल्स्, (त्यांना द्विमानांक, Bits असे आता म्हणता येते, ते द्विमानांक) मावतात. त्यांना सरकवण्याची (data transfer ची) त्वराही अशीच प्रचंड आहे. एका सेकंदात सुमारे १ कोटी बबल्स् म्हणजे द्विमानांक इष्ट तेथून इष्ट तेथे हलवता येतात ! यामुळे, उद्याच्या संगणकाच्या स्मृतिभांडारात, हजारो फेराइट् कड्या वेऊन व त्यांतून असंख्य तारा ओवून त्यांच्या जाळ्या (matrices) करण्याची यातायात वाचणार आहे. ' मॅग्नेटिक् बबल् स्टोअर्स् ' आता दृष्टिपथात आले आहेत !

कल्पनेलाही जेमतेम प्रतीत व्हावीत अशी सूक्ष्मीकरणाची नवनवीन तंत्रे शोधिली जात आहेत. पण या तंत्रांनी ज्या क्रिया साधावयाच्या त्या क्रियांवर १०० टक्के नियंत्रण असले पाहिजे, या गोष्टीवरील संशोधकांचे अवधान कधीही सुटत नाही. या नवोदित तंत्रांना Microelectronics अशी संज्ञा दिली आहे ती रास्तच होय.

प्रकरण : १७

मानव आणि संगणक यांमधील संपर्क व संबंध

प्राज्ञापनाचे तंत्र (Programming).

प्राज्ञापनाची कार्यवाही – संगणकाकडून काम करून घेतानाचे टप्पे

लघुगणकाची (Calculator ची) लघुकथा.

संगणकाच्या उपयोगितेची क्षेत्रे.

मानव आणि संगणक यांचे संबंध.

येथवरच्या प्रकरणांतून आपण संगणकाच्या अंगोपांगांच्या रचना व त्यांच्या कार्य-पद्धती यांचा अभ्यास केला, व संगणकाच्या सुपुर्द केलेली गणिती समस्या तो कशी सोडवतो, हे समजून घेतले. समस्या त्याच्याकडे हस्तांतरित करण्याच्या तंत्राची अगदी स्थूल माहिती यापूर्वी सांगितली. या प्रकरणी याविषयीची थोडी अधिक माहिती करून घ्यायची आहे. एक गोष्ट वाचकांच्या लक्षात आली असेल, की वीज-स्पंदांच्या तालावर व अनेकानेक संकेत संभाळून काम करणाऱ्या या जड साधनाला त्याचे काम पुरवताना, ते पुरवणाऱ्या माणसालाही अनेक अनुरूप संकेतांचा आश्रय घ्यावा लागत असेल. वस्तु-स्थिति तशीच आहे. संगणकाकडून काम करून घेणाऱ्या व्यक्तीला, या संकेतांच्या अनुरोधाने आपल्या समस्येची आधी व्यवस्थित मांडणी, म्हणजेच तिचे प्राज्ञापन (Progrmme) तयार करावे लागते, व ते निर्दोष असल्याची खात्री पटल्यावरच, कार्यवाहीकरता संगणकाकडे पाठविता येते.

कोणत्याही समस्येचे प्राज्ञापन कसे करावयाचे याचे आता एक विशाल शास्त्र झाले आहे, व या शास्त्रांतील तज्ञांना, संगणकाची निर्मिती किंवा त्याची देखभाल करणाऱ्या इंजिनिअरांइतके महत्त्व लाभले आहे. तेव्हा प्राज्ञापन-पद्धतीविषयी तपशिलाने चर्चा येथे करता येणार नाही व तिची आवश्यकताही नाही. या कामात कोणत्या तऱ्हेची सूत्रबद्धता असते याचे स्थूलस्वरूप आपल्याला समजले म्हणजे पुरे.

दुसरी गोष्ट, गणिती समस्येची योग्य तऱ्हेने मांडणी करून ती संगणकाच्या स्वाधीन केल्यावर, व तो ती सोडविण्याचे आपले कार्य करू लागल्यावरही, त्याच्याकडे

पर्यवेक्षक व्यक्तीचे (ऑपरेटरचे) लक्ष असावे लागते. कारण, समस्या-मांडणीत नकळत राहून गेलेल्या काही चुकीमुळे, अपुरेपणामुळे, किंवा आणखी काही अनपेक्षित कारण उद्भवल्याने संगणकाचे काम मधेच अडले, तर पर्यवेक्षक व्यक्तीला, हस्तक्षेप करून काम पुन्हा योग्य तऱ्हेने चालू करावे लागते. क्वचित्, चालू असलेल्या कामातील झाले असेल तेवढ्याच कामाचा छापील अहवाल मध्येच हवा असला तरीही व्यक्तीला हस्तक्षेप करावा लागतो. थोडक्यात, मानव आणि संगणक यांच्यामध्ये संपर्क राखणारी काहीना काही स्वरूपाची यंत्रणा निरंतर सिद्ध असते. संपर्कांचे हे विविध टप्पे क्रमशः दर्शविणारी एक चित्रकथा पुढे दिली आहे, तिचे प्रयोजन असे की, बहुतांश वाचकांना संगणकाचे प्रत्यक्ष दर्शन घडण्याचा संभव फार कमी असल्याने, त्यांना या चित्रकथेवरून प्रस्तुत संपर्कव्यवस्थेचा काही बोध होईल.

हे झाले संगणकाच्या नुसत्या दर्शनाचे. त्याला हाताळण्याची संधी तर प्रायः अशक्यच समजली पाहिजे. पण याही बाबतीत वाचकांना अंशतः का होईना स्वयंप्रतीतीचे समाधान मिळवून देणारी एक सोय आहे. ती म्हणजे, थोड्याफार प्रयासाने उपलब्ध होऊ शकणारा लघुगणक (Calculator) ही होय. लघुगणकासंबंधीची माहिती या प्रकरणात पुढे सांगितली आहे; ती मनोरंजक व उद्बोधक वाटेल.

संगणकाच्या अंतर्रचनेत व कार्यक्षमतेत सतत सुधारणा होत आहेत. त्याच्या कामगिरीच्या क्षेत्रांची वाढ तर घोडदौडीच्या झपाट्याने होत आहे. अशा परिस्थितीत, हे जड साधन मानवाचा दासच राहील, का मानवी बुद्धीचे अनेकानेक पैलू आत्मसात् करून व मानवाच्या वरचढ होऊन उद्या त्याचा स्वामी बनेल, हा आता नुसत्या थट्टाविनोदाचा विषय राहिलेला नाही. अनेक विचारवंतांच्या दृष्टीने आता तो चिंतेचा नसला तरी चिंतनाचा विषय झाला आहे. मानव व त्याने निर्मिलेले हे साधन यांच्यातील संभाव्य संबंधांविषयी अल्प चर्चा प्रकरणाचे अखेरीस केली आहे.

आता आधी प्राज्ञापन-तंत्राची (programming ची) माहिती मिळवू :—

प्राज्ञापनाचे तंत्र. प्रथम संबंधित समस्या नीट ध्यानी घेऊन, ती गणिती स्वरूपात कशी बसवता येईल याचा विचार करावा लागतो, कारण सर्व समस्या प्रत्यक्ष गणिती रूपात उपलब्ध असतातच असे नाही. नंतर ही गणिती समस्या सोडविण्याची ढोबळ रूपरेषा आखली जाते. पुष्कळदा ही कामे विशेष तज्ञ व्यक्तीकडे सोपविली जातात. ज्याला प्राज्ञापक म्हणतात त्या व्यक्तीचे काम यानंतरचे असते. प्राज्ञापक, त्या ढोबळ रूपरेषेतील वेगवेगळ्या टप्प्यांपैकी आधी कोणते मांडायचे, नंतर कोणते मांडायचे याचा निर्णय करतो, त्यांची एकमेकांशी असलेली गुंतागुंत सोडवतो व अखेरीस, त्यांचे सोप्या अंकगणिती कृतीपर्यंत विश्लेषण करून नियंत्रणाच्या सूचना योग्य क्रमाने व सांकेतिक परिभाषेत मांडतो. या सूचनांनंतर गणिती समस्येतील खास मजकुर–संबंधित संख्या अर्थात् Data– तो योग्य क्रमाने मांडतो. या सर्व मांडणीला प्राज्ञापन (Program) म्हणतात. खालील उदाहरणावरून या मांडणीच्या पद्धतीची कल्पना येईल :

उदाहरण असे आहे—एका कारखान्यातील कामगारांच्या मासिक पगाराचे हिशेब करावयाचे आहेत. पगाराबरोबर त्यांना वेगवेगळे भत्ते मिळतात व प्रॉव्हिडंट फंड, तसेच ज्यांनी कर्ज घेतले असेल त्यांचे कर्जफेडीचे हप्ते इत्यादि कापले जातात; पण तूर्त आपण फक्त महागाई-भत्त्याचा विचार करू. महागाई-भत्ता पगाराच्या $\frac{१}{५}$ इतका मिळतो, पण कमीतकमी ६० रु. मिळतोच (२७०, २८५, ३०० रु. पगार असणाऱ्यांना तो ६० रु. मिळेल पण ३२०, ३४० रु. पगार असणाऱ्यांना अनुक्रमे ६४ व ६८ रु. मिळेल). दुसरी गोष्ट, पगाराचा आकडा कामगारांच्या हजर दिवसांवर ठरतो. महिना ३० दिवसांचा आहे, व गैरहजर दिवसांचा पगार त्यांच्या प्रमाणांत कापला जातो.

सुलभतेकरता असे समजू की, या हिशेबातील अंकात्मक माहिती (data) संगणकाला पंचकार्डावरून पुरविली जाणार आहे, व एकेका कर्मचाऱ्याच्या एकेका कार्डावरील माहिती पुरविली जाताच तिचा हिशेब सोडविला जाणार आहे. (यामुळे, वेगवेगळया कर्मचाऱ्याचे संबंधित आकडे संग्रहातील वेगवेगळया स्थानांवर मांडून ठेवण्याचा प्रश्न उद्‌भवत नाही. त्याच ठराविक स्थानांवर एकानंतर दुसऱ्या कर्मचाऱ्याचे आकडे लिहिले जाणार आहेत.)

पंच ऑपरेटरने येथे एक विशेष गोष्ट केली आहे. त्याने या गटातील प्रत्येक कर्मचाऱ्याच्या कार्डाच्या पहिल्या स्तंभात १ क्रमांकाच्या ओळीत छिद्र पाडले आहे; (याचा अर्थ पहिल्या स्तंभात “ १ ” छिद्रित केला आहे) आणि या गटाची कार्डे तयार झाल्यानंतर, त्यांच्या चवडीला जणू कव्हर म्हणून एक कोरे कार्ड ठेवले आहे, पण त्या कार्डाच्या पहिल्या स्तंभात २ क्रमांकाच्या ओळीत छिद्र पाडले आहे, म्हणजे तेथे “ २ ” छिद्रित केला आहे. या कव्हर-कार्डांचा उपयोग काय, ते पुढे कळेल. कर्मचाऱ्यांच्या कार्डांवर बाकीच्या स्तंभांत खालीलप्रमाणे माहिती छिद्रित केली आहे :

स्तंभ २–५	६–२५	२६–२८	२९–३०	३१–३२	३३–३५	३६–३८
कर्मचाऱ्याचा क्रमांक	कर्मचाऱ्याचे नांव	मासिक पगाराचा दर	हजर दिवस	महिन्याचे दिवस	महागाई भत्त्याचे पगाराशी प्रमाण	कमीतकमी महागाई भत्ता
—	—	—	—	(३०)	($\frac{१}{५}$)	(६०)

कार्डांवरील माहिती-दर्शक संख्या, तसेच हिशेब सोडविताना निघणाऱ्या मध्यंतरच्या निकालांच्या संख्या, संग्रहातील ज्या ज्या स्थानांवर मांडल्या जाणार आहेत, त्या स्थानांच्या क्रमांकांचा (म्हणजे पुनः संख्यांचाच) येथे घोटाळा नको, म्हणून ती स्थाने आपण येथे अक्षरांनी दर्शवू.

आता, संगणकाला कार्डे पुरविण्याचे काम सुरू होण्यापूर्वी त्याला खालील सूचना दिल्या जातात. (त्या सूचना तो कोठे, कशा मांडून घेतो, व त्यांची क्रमवार अम्मल-बजावणी कशी होते, याचा अभ्यास आपण नुकताच केला आहे. येथे आता त्या गोष्टी-

कडे लक्ष द्यावयाचे नाही. त्या सूचनांची मांडणी कशा तऱ्हेची असते, आणि त्या पाळताना संगणकाची कशी धावपळ होते येवढेच येथे पहावयाचे आहे.) सूचनांची क्रमवार यादी त्याच्या सुपुर्द झाल्यावर कार्डांचे निवेशन सुरू होते, आणि पहिले कार्ड त्याच्या ताब्यात येताच, तो यादीतील पहिल्या सूचनेपासून ओळीने प्रत्येक सूचनेची तंतोतंत अम्मलबजावणी करतो, व क्रमाने पुढच्या सूचनेकडे आपोआप वळतो. पण एखाद्या सूचनेमध्येच अशी पोटसूचना असते की, संगणकाने क्रम सोडून दुसऱ्याच आधीच्या किंवा नंतरच्या विशिष्ट सूचनेकडे मोहरा वळवावा ! सांगकाम्या संगणक मग ती आज्ञा पाळतो. ही नवी सूचना त्याला आणखी तिसऱ्याच एखाद्या सूचनेकडे वळवते किंवा पुनः मूळ क्रमात आणून सोडते. बिचाऱ्या संगणकाची अवस्था साप–शिडीच्या खेळातल्यासारखी होते. पण हे तंत्र वापरून प्राज्ञापक मात्र कितीतरी गोष्टी साधतो व समस्येचे उत्तर विनाविलंब मिळवतो. पुढील यादी बारकाईने पहावी म्हणजे खुलासा होईल.

सूचनांची क्रमवार यादी :—

१. कार्ड वाचा.

२. कार्डाच्या पहिल्या स्तंभात " १ " असल्याचे पहा; असल्यास सूचना क्र. ३ कडे वळा; नसल्यास सूचना क्र. १५ कडे वळा.

३. स्तंभ २ ते २५ मधील माहिती अ स्थानावर लिहा. (कर्मचाऱ्याचा क्रमांक व नाव)

४. ,, २६ ते २८ ,, ,, ब ,, ,, (पगाराचा दर)

५. ,, २९ ते ३० ,, ,, क ,, ,, (हजर दिवस)

६. ,, ३१ ते ३२ ,, ,, ड ,, ,, (महिन्याचे दिवस- ३०)

७. ,, ३३ ते ३५ ,, ,, ई ,, ,, (महागाईभत्त्याचे पगाराशी प्रमाण $\frac{१}{६}$)

८. ,, ३६ ते ३८ ,, ,, फ ,, ,, (कमीतकमी महागाईभत्ता–६०)

९. ब स्थानावरील संख्येला क स्थानावरील संख्येने (संक्षेपाने ब ला क ने) गुणा; व गुणाकार ग मध्ये लिहा.

१० ग ला ड ने भागा व भागाकार ह मध्ये लिहा. (निव्वळ पगार निघाला)

११ ब ला ई ने गुणा व गुणाकार ज मध्ये लिहा. (भत्त्याची वैकल्पिक रक्कम)

१२. ज व फ यांची तुलना करा :

जर ज फ पेक्षा अधिक किंवा बरोबर असेल तर ज मध्ये ह मिळवा; दर ज फ पेक्षा कमी किंवा बरोबर असेल तर फ मध्ये ह मिळवा;	येणारी बेरीज ल मध्ये लिहा. (पगार+भत्ता)

१३. अ मधील माहिती व तिच्यापुढे ल मधील माहिती छापा. (एका कार्डाचे काम संपले.)

१४. सूचना क्र. १ कडे वळा. (दुसऱ्या कामगाराच्या हिशेबाचे काम सुरू)

१५. कार्डाच्या पहिल्या स्तंभात " २ " असल्याचे पहा. असल्यास सूचना क्र. १७ कडे वळा. नसल्यास सूचना क्र. १६ कडे वळा.

१६. '**स्तंभ क्र. १ च्या छिद्रणात घोटाळा आहे**' असे जाड टाइपात छापा.
१७. काम बंद करा.

वाचकांनी मोजके कर्मचारी (समजा ४, व अर्थात् त्यांची ४ कार्डे व ५ वे कोरे पंचकार्ड इ.) मनात धरून व त्यांचे पगारही वेगवेगळे, २०० रु. पेक्षा कमी / अधिक गृहीत धरून, कॉम्प्युटर करील तशी वरील सूचनांची अंधळी अम्मलबजावणी करावी. सूचनांच्या चक्रव्यूहातून बाहेर पडताना चौघा कर्मचाऱ्यांचे पगार बरोबर निघालेले असतील, व काम संपल्याचे आपोआप जाहीर होईल !

खरे पाहता, प्राज्ञापनातील सूचना इतक्या ठोकळ व साध्या भाषेत लिहिलेल्या नसतात. वरील सूचनांपैकी बहुतेक प्रत्येकीची फोड करून अंतिम सूचना तयार होतील. येवढेच नव्हे, तर त्या मांडण्याच्या सांकेतिक भाषाही फार वेगळ्या, दुर्बोध असतात. पण आपणांस येथे त्या बारकाव्याची जरूरी नाही. आपणास येवढे कळले म्हणजे पुरे, की,

— सूचनांच्या क्रमाची धाटणी कशी असते,
— संगणकाच्या एकंदर कामात विशिष्ट गणिती व इतर आवश्यक क्रियांचा संच पुनः पुनः येत असला तरी सूचनांची पुनरावृत्ती कशी टाळली जाते, त्याकरता मग,
— क्रमाने लिहिलेल्या सूचनांत, मध्येच क्रम सोडून व मोहरा बदलून, संगणकाचे काम दुसऱ्या एखाद्या सूचनेकडे कसे वळवले जाते, (या कृतीला तांत्रिक भाषेत Jump म्हणतात. याचे उदाहरण सूचना क्र.१४ मध्ये आढळते) तसेच,
— मध्यंतरच्या वकल्पिक उत्तरांपैकी योग्य तेच उत्तर विचारात घेतले जावे, हे कसे साधले जाते; (या कृतीला Branch किंवा Conditional Jump म्हणतात; याचे उदाहरण सूचना क्र. २, १२, १५ मध्ये आढळते) इ.

गणिती समस्या मोठी व गहन असेल तर तिचा प्रोग्रॅम मांडण्याचे काम प्रदीर्घ व किचकट असते. प्रोग्रॅम लिहिल्यानंतर प्रोग्रॅमर (प्राज्ञापक) तो पुनः पुनः तपासून पाहतो व निर्दोष असल्याची खात्री झाल्यावर मगच पंचिंगकरता पुढे पाठवतो; कारण मांडणीत एक जरी क्षुल्लक चूक राहून गेली, तरी नंतर संगणकाकडून मिळणाऱ्या उत्तरात अनर्थ संभवतो, व मग, चूक झाली ती मानवाची का मशिनची, हे शोधण्याचे अधिक दुर्घट काम प्रोग्रॅमरपुढे उभे राहते.

त्याचे काम अधिक सोपे करण्याचे प्रयत्न सतत चालू असतात. प्राज्ञापनामध्ये मांडाव्या लागणाऱ्या सूचना संख्येने कमी व विस्ताराने लहान असाव्यात व काही विशेष सांकेतिक सूचनांच्या बाबतीत, संगणकाने त्या 'वाचल्यावर', एकेका सूचनेच्या पोटातील अनेक गृहीत (understood) सूचना जणू स्वतःच जाणून त्या पाळाव्यात अशा योजना (autocodes) सिद्ध झाल्या आहेत. या सिद्धींकरता, संगणक-निर्माते

सरण्यांच्या नवनवीन रचना संशोधून त्या आपापल्या संगणकांतून बसवितात. ग्राहकांच्या दृष्टीने या योजना फार सोयीच्या असतात. पण वेगवेगळ्या निर्मात्यांनी उपलब्ध करून दिलेल्या या सोयींमध्ये एकवाक्यता नसल्यामुळे, त्या सोयींचा उपयोग करून येणाऱ्या वेगवेगळ्या प्राज्ञापकांकडून वापरल्या जाणाऱ्या सांकेतिक भाषांमध्येही प्रमाणितता (Standardization) राहात नाही, त्यामुळे, एका मशिनवर काम करणाऱ्या प्रोग्रॅमरला दुसऱ्या घडणीच्या मशीनवर काम करणे तितकेसे सुलभ नसते. या अडचणी दूर व्हाव्यात म्हणून प्राज्ञापन करताना वापरावयाच्या सार्वत्रिक संमतीच्या काही सांकेतिक भाषा सिद्ध झाल्या आहेत. ALGOL (Algebraic Oriented Language), FORTRAN (Formula Translation) या भाषा शास्त्रीय स्वरूपाच्या गणितांची मांडणी करण्याकरता उपयोजितात, तर COBOL (Common Business-Oriented Language) ही सांकेतिक भाषा व्यवसाय, व्यवस्थापन यासंबंधीच्या हिशेबांच्या मांडणी-करता वापरली जाते. या सर्वमान्य भाषांना अनुरूप अशाच रचना व कार्यपद्धतीच्या योजना वेगवेगळे संगणक-निर्माते आपआपल्या संगणकांमध्ये बहुधा बसवितात.

संगणक-केंद्रातून फेरफटका : सोडवायच्या समस्येच्या आखणी–व–मांडणीनंतर आता तिची अंमलबजावणी कशी करून घेतली जाते ते प्रत्यक्ष पाहू. संगणकाच्या अंतर्रचनेबद्दल आपण येथवर बरीच माहिती मिळविली, पण या साधनाच्या बाह्य रूपा-विषयी अद्याप काहीच कळले नाही. आपण वाचलेली त्याची अंगोपांगे आकाराने केवढी असतात, ती परस्पराशी कशी जोडली असतात, किंबहुना हे सर्व दिसते कसे, व हाताळले कसे जाते, याची माहिती अद्याप मिळाली नाही. पुढे ती सचित्र सांगितली आहे.

एखाद्या सरकारी वा खासगी संस्थेतला संगणक फार मोठाली गणिती/हिशेबाची कामे अत्यल्प वेळांत पार पाडत असला तरी ते साधण्याकरता, अनेक पूरक यंत्रणा व त्या चालविणारे कर्मचारी यांची एक शिस्तशीर व्यवस्था सिद्ध असावी लागते. ही सर्व व्यवस्था म्हणजे त्या संस्थेचा संगणक विभाग किंवा संगणक केन्द्र (Computer Centre) होय. येथे पुणे येथील मेसर्स किर्लोस्कर कमिन्स यांच्या सौजन्यपूर्वक पर-वानगीने त्यांच्या संगणक केंद्रात काढलेल्या फोटोंची एक चित्रकथा दिली आहे. एखाद्या गणिती कामाची जबाबदारी संगणकावर सोपवायचे ठरल्यापासून, तो त्या कामाची पूर्ति मुद्रित स्वरूपात हाती पडेपर्यंतच्या वेगवेगळ्या टप्प्यांवरची कामे संगणक-व्यवस्थेत कशी पार पडतात, ते या चित्रकथेतून स्पष्ट होईल. या केंद्रात **मेसर्स इंटरनॅशनल् कॉम्प्यूटर्स लिमिटेड (I C L) यांचा** 1901 A **हा संगणक** बसविलेला आहे. त्याच्या मुख्य स्मृतिभांडाराची धारणक्षमता १६,३८४ (16 k) शब्द धारण करण्याची आहे.

केन्द्रात प्रवेश करण्याआधीच काही प्राथमिक गोष्टी समजल्यास इष्ट होईल :— संगणक-केन्द्रातील सर्व दालने वातानुकूलित असतात. मात्र ही व्यवस्था केवळ कर्म-चाऱ्यांच्या आरामाकरता असते असे नव्हे; प्रामुख्याने ती संगणकातील वीजकीय घटकांच्या स्थैर्याकरता असते. हे असंख्य वीजकीय घटक अर्धवाहक द्रव्यांचे केलेले असल्याने व

तपमानातील मोठ्या बदलांनी त्यांच्या कामगिरीत घोटाळा होण्याचा संभव असल्याने ही व्यवस्था अनिवार्य असते. वेगवेगळ्या दालनांतील भिंती काचेच्या मोठाल्या तावदानांच्या केलेल्या असतात, त्यामुळे व छतात बसविलेल्या दिव्यांमुळे सर्वत्र सारखा प्रकाश पडलेला असतो. सगळीकडेच काटेकोर स्वच्छता असते पण त्यातही, प्रत्यक्ष संगणकयंत्रणा ज्या दालनात बसविलेली असते, तेथे व्हॅक्युअम् क्लीनरने (धूळ ओढून घेणाऱ्या झाडूने) फरशीवरची असली/नसली धूळ मधून मधून टिपली जाते. या महत्त्वाच्या दालनात फक्त नियुक्त कर्मचाऱ्यांनाच प्रवेश असतो, पण त्यांनाही, दालनात प्रवेश करण्यापूर्वी आपली नेहमीची धुळीने भरलेली पादत्राणे बदलून, प्रवेशद्वारापाशी ठेवलेली रबराची स्वच्छ पादत्राणे घालून प्रवेश करावा लागतो इ. तेव्हां आता केन्द्रप्रमुखांच्या टेबला-पासून आपल्या फेरफटक्यास व निरीक्षणास सुरुवात करू : आता पुढील पानांवरील चित्रमालिका पहावी.

या चित्रावलीमध्ये आपणांस **संगणकव्यवस्थेतील वेगवेगळ्या घटकांचे समोरून दर्शन होणार आहे.** त्यांचा क्रम संगणकाच्या कामगिरीतील क्रमानुसार असेल. येथे हे ध्यानी घ्यावे की, पुस्तकातील येथवरच्या विवेचनात आपण सोयीकरता या क्रमात बदल केला होता. पण मुख्य म्हणजे, आपण त्या त्या टप्प्यावरची कामगिरी पार पाडणाऱ्या त्या त्या **घटकाच्या अंतर्भागात** योग्य तेवढा मुक्काम करून तेथील काम कसे चालते याची तपशिलाने माहिती मिळविली. एक प्रकारे, तेथे आपण प्रस्तुत दर्शनी स्वरूपांच्या मागील बाजूंच्या जड यंत्रणांच्या (Hardware च्या) कार्यपद्धतींचा अभ्यास केला, तर येथे या **जड यंत्रणांशी (दुनिद्स्शी) चालक व्यक्तींचा समोरून संपर्क** कसा राहतो, त्यांचे संचालन कसे होते ते आता पाहू. दोन्ही बाजूंकडून केलेल्या या अभ्यासातून एक महत्त्वाचे ईप्सित साधले जाईल, ते म्हणजे, **विजेने गणित कसे सुटते, व ते सोडवून कसे घेतले जाते या दोन्ही प्रक्रियांचे रहस्य आपणांस ज्ञात होईल !**

संगणकाच्या कार्यक्षमतेचा प्रत्यक्ष पडताळा पाहण्याचे साधन-टेबला-वरचा किंवा खिशात मावणारा लघुगणक (Desk or Pocket Calculator). येथवरच्या अभ्यासावरून आपणांस संगणकाच्या कर्तृत्वशक्तीची साधार माहिती मिळाली आहे. या कष्टार्जित माहितीला प्रत्यक्ष प्रतीतीची जोड लाभती तर आपल्या अभ्यासाला परिपूर्णता आली असती हे उघड आहे; पण ते अशक्यप्राय आहे. (पुढील चित्रकथेच्या रूपाने संगणक-कार्यालयाचे दर्शन होईल हेच पुष्कळ म्हणावयाचे). पण असे असले तरी, या साधनाच्या कर्तबगारीची स्वयंप्रचीतीने खात्री पटावी अशी एका सोयीची योजन कित्येकांना उपलब्ध होण्यासारखी आहे. ती योजना म्हणजे,अनेक कार्यालयांतून व शास्त्रज्ञ इंजिनिअर, ऑडिटर इ. व्यावसायिकांपाशी असणारा वीजकीय लघुगणक (कॅल्क्युलेटर) स्वतः चालवून पाहणे ! वाचकांनी असा एखादा लघुगणक निदान थोड्या वेळाकरता मिळवून अवश्य हाताळून पहावा.

आकृती १७·१ मध्ये खिशात ठेवता येणाऱ्या एका लघुगणकाचे चित्र दिले

आहे. संगणकाच्या तुलनेने या साधनाच्या कामाचा आवाका लहान असतो, हे उघडच आहे; त्याच्या नावातच ते व्यक्त होते. पण गणिती प्रक्रिया करण्याची-आकडेमोडीची-त्याची त्वरा मात्र बड्या भाई संगणकासारखीच आहे. विजेच्या त्वरेनेच दोन्ही साधनांत हे काम होते. या दोन साधनांची तुलना करून पाहिल्यास लघुगणकात कोणती कमतरता असते हे तर कळेलच, पण संगणकाविषयीच्या येथवर मिळविलेल्या माहितीचीही थोडी फार उजळणी होईल.

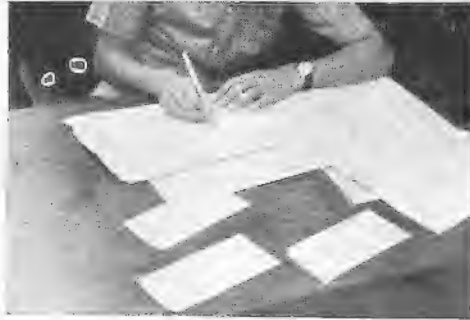
लघुगणकाच्या बटनांच्या तक्त्यावर 0 ते 9 या अंकांची बटने आहेत त्याचप्रमाणे +, −, ×, ÷ या चिन्हांची बटने आहेत. इष्ट त्या अंकांची बटने दाबून त्यांच्या होणाऱ्या संख्या व त्यावर व्हावयाच्या गणिती कृती लघुगणकाच्या सुपुर्द करण्याकरता ही व्यवस्था असल्याचे सहज ध्यानी येईल. इष्ट संख्येचा व्यस्तांक म्हणजे त्या संख्येने १ ला भागून येणारा भागाकार $\frac{1}{x}$, तिचा वर्ग (x^2), तिचे वर्गमूळ ($\sqrt{x}$) इ. ताबडतोब प्राप्त करून देणारी बटनेहि येथे आहेत, दशांश चिन्हाचे बटन अर्थातच आहे, संख्येचे + किंवा − असेल ते चिन्ह बदलणारे बटन आहे, फार मोठी संख्या व्यक्त करण्याकरता तिला १० च्या इष्ट घाताच्या रूपात व्यक्त करणारे E E (Enter Exponent) बटन आहे, सुटलेल्या गणिताचे उत्तर दाखवणारे = चिन्हाचे बटन आहे; तर पाटी पुसून टाकण्याची कृती करणारे C (Clear) व दर्शनी खिडकीत दिसणारी संख्या पुसून टाकणारे CD ही बटने आहेत. एकंदर बटनांचा उद्देश सहज लक्षात येईल. सोडवायचे उदाहरण आपण पाटीवर ज्या क्रमाने मांडतो, त्याच क्रमाने येथे त्यातील अंकांची व गणिती कृतीच्या चिन्हांची बटने दाबायची असतात. ती दाबताच लघुगणक तो मजकूर नोंदून घेतो! येथे पंचिंग मशीन, पंचटेप, नंतर कर्षुकीय टेप, यांवर माहितीची नोंदणी व नंतर उदाहरणातील सर्व सूचनांचा व संख्यांचा स्मृति भांडारात प्रवेश, असा दीर्घसूत्री कारभार नसतो. किंबहुना संगणकात असते तसे विशाल व्याप्तीचे स्मृतिभांडार (main memory, store) येथे नसतेच (इतक्या थोड्या जागेत ते मावणारच नाही.) मग प्रश्न असा पडेल, की उदाहरणातल्या बाकीच्या संख्यांचे जाऊ द्या, त्यातील सुरुवातीची संख्या व तीवर करायची गणिती कृती या गोष्टी तरी येथे मांडून कशा घेतल्या जातात? या प्रश्नाचे उत्तर पुस्तकामध्ये प्रकरण १२ मध्ये आधीच दिले आहे—ही माहिती फ्लिप्-फ्लॉप् मालिकांच्या बनलेल्या सरक-सरण्यांवर (शिफ्ट रजिस्टर्सवर) उतरून घेतली जाते! आता मालिकेतल्या फ्लिप्-फ्लॉप् सरण्यात ट्रॅन्झिस्टर रोधक, धारक इ. घटक अत्यावश्यक असतात; त्यांच्या अस्तित्वामुळे सर्वच नोंदणीपट (रजिस्टर्स) बऱ्याच मोठ्या आकाराचे होणार; मग येवढ्याशा लघुगणकाच्या पोटात ते कसे मावणार? असा दुसरा प्रश्न यातून उद्भवतो. त्याचेही उत्तर १६ व्या प्रकरणात 'संकलित सरण्यांची' माहिती सांगून दिले आहे. अनेकानेक नोंदणीपटांचा विस्तार, ते संकलित सरण्यांच्या स्वरूपात असले तर कल्पनातीत कमी जागेत मावतो हे आता स्पष्ट व्हावे. सूक्ष्मीकरणाच्या आणखी एका अभिनव तंत्राची माहिती पुढे येणार आहे.

—: संगणकाच्या कामगिरीची चित्रकथा :—



१.

संगणकाकडे सोपवायच्या कामाच्या प्राज्ञापनाचा आराखडा कसा मांडायचा यावर चर्चा चालू आहे. विभाग-प्रमुख महत्त्वाच्या सूचना देत आहेत. फोटोत मागील बाजूस पंच-ऑपरेटर्सचे दालन दिसते.



२.

प्राज्ञापनाचे
(Program चे)
लेखन चालू आहे.



३.

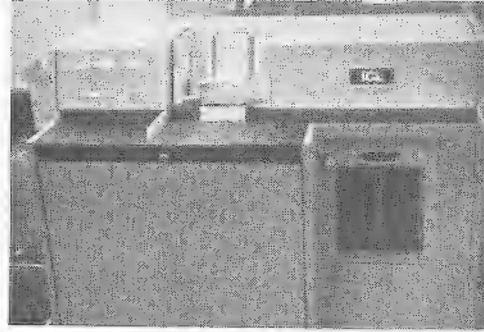
प्राज्ञापित मजकुरानुसार पंच-कार्डांचे पंचिंग (छिद्रण) चालू आहे.



४.

अनेक छिद्रण यंत्रांवर कर्मचारी आपापली कामे करीत आहेत.

५.

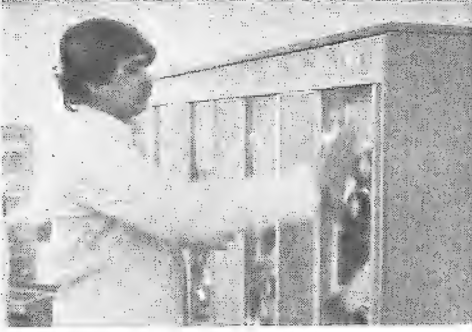


हे आणि यापुढील चित्रे मुख्य दालनातील आहेत. संगणक-यंत्रणेतील प्रमुख घटक येथे बसवलेले आहेत. चित्रात कार्ड-रीडर हा घटक दिसत आहे. त्यात वरील बाजूस मध्यभागी बसविलेली कार्डांची चवड पहावी. यामध्ये एकेका कार्डावरील मजकूर वाचला जातो व नियंत्रण विभागाकडे पाठविला जातो. तेथून तो मॅग्नेटिक् टेपवर व योजनेप्रमाणे मुख्य स्मृतिभांडारात पाठविला जातो.



६.

अशा मजकुराने भरलेली अनेक टेप्स्ची रिळे व्यवस्थित रीतीने टेप् लायब्ररीत ठेवलेली चित्रात दिसतात. कर्मचारी इष्ट ते रीळ बाहेर काढीत आहे.



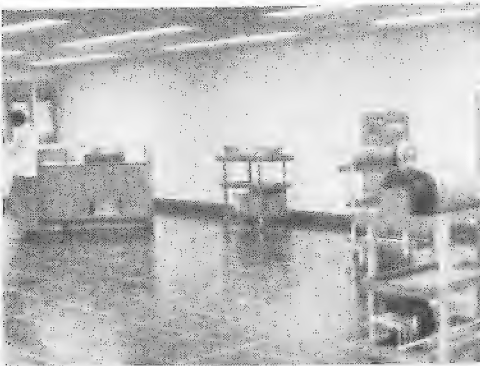
७.

लायब्ररीतून आणलेले रीळ ' टेप-रीडर ', या, क्रमाने पुढच्या घटकामध्ये बसविले जात आहे. या टेप युनिट-मध्ये एकंदर ४ टेप्सवरील माहितीची देवघेव होते. नियंत्रण विभाग टेप्सवरील माहिती ' वाचून ' त्यानुसार आपले काम करतो. जरुरी-प्रमाणे नोंदून ठेवावयाच्या माहितीचे टेप्सवर ' लेखनही ' येथे होते.



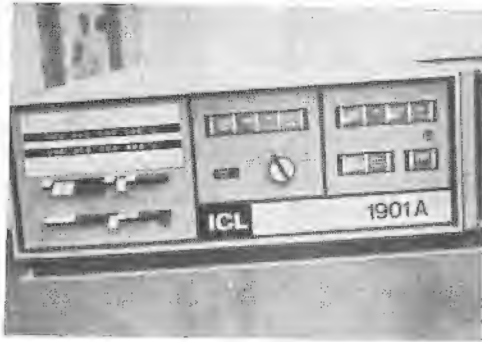
८.

चित्रात उजवीकडे टेप-रीडरचे समोरून दर्शन. मध्यभागी एका घडवंचीवर टेप्सची मोकळी रिळे व डावीकडे दुसरीवर पंच कार्डे दिसत आहेत.



९.

डावीकडे, पाठमोऱ्या कर्म-चाऱ्याच्या शेजारी संगणक-यंत्रणेतील मुख्य घटक ' सेंट्रल प्रोसेसर ' दिसत आहे. या घटकाच्या अंतर्भागात, पुस्त-कात विवेचिलेले ' अंकगणित विभाग ', ' मुख्य स्मृति-भांडार ', ' नियंत्रण विभा-गाच्या सरण्या ' व ' उत्पतन यंत्रणा ' हे विभाग असतात.



१०.

सेंट्रल प्रोसेसरच्या कपाटाच्या डाव्या वरच्या कोपऱ्यात बसविलेल्या स्विचेस्चे जवळून दर्शन. यांच्या साह्याने या प्रधान घटकाच्या कार्याचे नियंत्रण शक्य होते.

११.

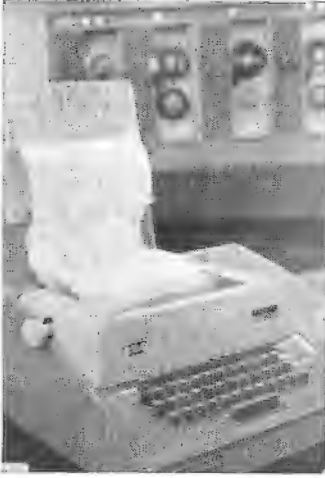
सेंट्रल प्रोसेसरच्या तळमजल्याचे उजवीकडील दार उघडले आहे. आत द्रुत-मुद्रण यंत्रातून बाहेर पडणारा कागद दिसत आहे. संगणाकाच्या सुपुर्द केलेल्या गणिती समस्येचे उत्तर या कागदावर मिळते.





१२.

सेंट्रल प्रोसेसर व संचालक व्यक्ती यांमध्ये सतत संपर्क राखणारे साधन (दूर - टंकन यंत्र, टेलि-टाइपरायटर). चित्रात, संचालक सेंट्रल प्रोसेसरला त्याच्या कामाबाबत योग्य तो संदेश पाठवीत आहे.

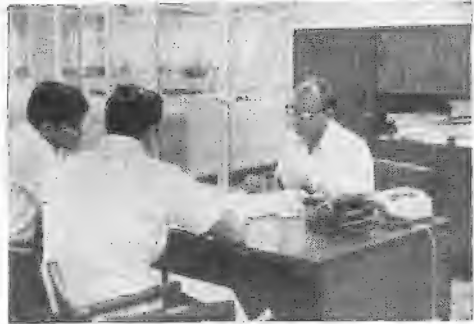


१३.

दूर-टंकन यंत्राचे जवळून घेतलेले चित्र. मागील बाजूस टेप युनिट दिसते.

१४.

सेंट्रल प्रोसेसरकडून (म्हणजे पर्यायाने सर्व संगणक यंत्रणेकडून) मिळालेल्या कार्यपूर्तीच्या मुद्रित मजकुरावरून विभागप्रमुख व त्यांचे सहकारी दृष्टिक्षेप टाकीत आहेत.



वरील चित्रकथेच्या माध्यमाने संगणकाच्या कामगिरीतील विविध टप्पे आपण क्रमवारीने पाहिले. संगणक-कार्यालयातील आपली सहल येथे संपली. आता पान उलटून पहा संगणकाचा छोटा भाई लघुगणक.



आकृती १७·१
खिशात ठेवता येणारा लघुगणक
(Pocket Calculator)

संकलित सरण्यांच्या तंत्रासारखेच सूक्ष्मीकरणाचे आणखी एक तंत्र शास्त्रज्ञ-तंत्रज्ञांनी प्रस्थापित केले आहे, त्याचा आता नुसता उल्लेख येथे करतो. त्या तंत्राचे नाव 'मेटल् ऑक्साइड् सेमिकंडक्टर तंत्र'. इंग्रजीतील Metal Oxide Semiconductor या शब्दांच्या आद्याक्षरांचे बनलेले 'MOS' हे या तंत्राचे संक्षिप्त रुढ नाव. संगणकाच्या कार्यपद्धतीत लागणाऱ्या बीजसरण्यांतून बीजप्रवाहाचे हुकमी नियंत्रण आवश्यक असते. हे नियंत्रण, या तंत्रान्वये, ते प्रवाह विशिष्ट धातूंच्या ऑक्साइड्स्च्या सूक्ष्मातिसूक्ष्म लांबी–रुंदी–जाडीच्या सिद्ध केलेल्या स्तरांमधून (films मधून) नेण्याची योजना करवून साध्य होते. या सूक्ष्म सरण्यांना लागणारी जागा अर्थातच कल्पना करता येणार नाही इतकी कमी असते, विजेचा खर्च कमी असतो, आणि मुख्य म्हणजे, सरण्यांच्या कार्याची विश्वासार्हता मात्र परिपूर्ण असते. येवढे साध्य झाल्यावर, अशा सरण्यांनी युक्त अशा लघुगणकाला, संबंधित उदाहरणातील संख्या व सूचना जसजशा पुरविल्या जातील तसतशी त्यांची नोंदणी सहजतेने करून घेता येते. ही झाली गणित मांडून घेण्याविषयीची माहिती. ते सोडविले कसे जाते याविषयी नवीन काही सांगण्याची जरूरी नाही. लघुगणकातील अंकगणित विभागाची (प्रत्यक्ष आकडेमोड करणाऱ्या सरण्यांची) रचना व योजना संगणकाच्याप्रमाणेच असते. त्यामुळे दोन्ही साधनात इष्ट त्या गणिती कृती सारख्याच पद्धतीने व त्वरेने पार पडतात. येथे फरक एवढाच असतो की, लघुगणक संबंधित गणितातील सर्व संख्या व सूचना एकदम स्वीकारीत नाही, व त्यामुळे, त्याने अशा संख्यांवर पूर्वसूचित (म्हणजे प्राज्ञापित) क्रमाने आपोआपी (ऑटोमॅटिक्) कृती करण्याचा प्रश्नच उद्‌भवत नाही. या दृष्टीने तो 'आपोआपी' नसतो, हा प्रस्तुत दोन साधनांतील एक महत्वाचा फरक. †

गणिताचे निघालेले अंतिम उत्तर (किंवा जरूर तर मधल्या मधल्या टप्प्यांवरची उत्तरे) लघुगणक प्रदर्शित कशी करतो ? हा आणखी एक प्रश्न. उत्तर छापून प्रदर्शित करणे या गोष्टीची, खिशात ठेवायच्या लघुगणकाकडून अपेक्षाच करता येत नाही. टेबलावर ठेवायच्या काही नवनिर्मित यंत्रांमध्ये उत्तराचा मजकूर टाइप होऊन बाहेर पडण्याची व्यवस्था केलेली असते. पण या साधनांची उत्तर-प्रकटीकरणाची मुख्य रीती म्हणजे, ते, काजव्यासारख्या प्रकाशणाऱ्या अंकांच्या स्वरूपात प्रदर्शित करणे ही होय.

---

† या विधानाचा प्रतिवाद करणारे व जगप्रसिद्ध कंपन्यांनी तयार केलेले नवीनतम लघुगणक बजारात आले असल्याचे समजते. त्यांच्या अंतर्भागात अल्प व्यापाची का होईना पण स्मृतिभांडारे (memories) असतात व ते, प्राज्ञापित सूचना ग्रहण करून ठेवून त्यानुसार क्लिष्ट गणिताच्या सोडवणुकीतील सर्व टप्प्यांवरील आकडेमोड मग आपोआप करतात. 'खिशात ठेवता येण्यासारखे हे संगणकच (Computers) होत !' अशी त्यांची जाहिरात केली जाते. संगणकाच्या जुन्या-नव्या पिढयांचा उल्लेख मागे आला आहे. लघुगणकाच्याही नवनवीन प्रगत पिढया जन्मत आहेत !

हे प्रकाशमान अंक लिहिले कसे जातात ते आता सांगतो. प्रकरण १४ च्या अखेरीस ‘ कॅथोड रे ट्यूब ’ विषयीच्या माहितीत इलेक्ट्रॉन्स्चा झोत पडताच चमकणाऱ्या फॉस्फरेसंट पदार्थांचा उल्लेख आला आहे. येथे तसल्याच काही पदार्थांचा उपयोग केला जातो. गॅलियम् अर्सेनाइड्, गॅलियम् फॉस्फाइड् व गॅलियम अर्सेनाइड्-फॉस्फाइड् या क्षारांमधून अल्प वीज वाहताच ते प्रकाशित होतात. त्यांपासून निघणारा हा प्रकाश अर्थातच काजव्याच्या प्रकाशासारखा उष्णताहीन असतो. साध्या डायोडच्या रचनेत हे क्षार योग्य प्रमाणात अंतर्भूत केल्याने, अशा डायोडमधून जेव्हा वीज वाहते तेव्हा ते तेवढयापुरते प्रकाशित होतात. यांना Light-Emitting Diodes, संक्षेपाने LED म्हणतात. गॅलियम अर्सेनाइड् किंवा गॅलियम अर्सेनाइड्-फॉस्फाइड् यांचा अंतर्भाव असलेले डायोड वाहक स्थितीत असताना (अर्थात् त्यांचा वीजपुरवठा प्रवाहानुकूल, forward-biased असताना) त्यांच्या P आणि N प्रदेशातील सीमाभागातून हिरवट पांढरा प्रकाश निघतो, तर गॅलियम् फॉस्फाइड्युक्त डायोडमधून लाल प्रकाश निघतो. हा प्रकाशित सीमाभाग त्याच्या बाजूकडून पाहिल्यास अर्थातच एखाद्या प्रकाशित रेषेसारखा दिसतो. आपल्या दृष्टीने अशी प्रकाशित रेषा उपलब्ध होणे महत्वाचे आहे. आता अशा रेषांच्या साह्याने इंग्रजी 0 ते 9 पैकी इष्ट ते अंक कसे प्रदर्शित केले जातात ते पाहू—

अशा एकंदर सात प्रकाशदायी डायोडांची अशी मांडणी करतात की त्यांच्या प्रकाशित रेषांचे, एकमेकास चिकटलेले दोन चौकोन दिसावेत. (मधली रेषा दोन्ही चौकोनांना सामायिक असते; नाहीतर दोन चौकोनांकरता एकंदर ८ रेषा लागल्या असत्या.) या सात डायोडांपैकी इष्ट तेवढेच प्रकाशित केल्याने इष्ट ते इंग्रजी अंक कसे दर्शविता येतात ते आकृती १७·२ मध्ये पाहावे.



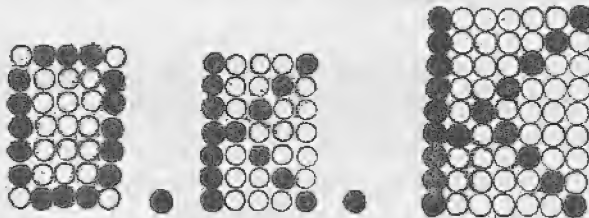
आकृती १७·२ सप्तरेखात्मक अंक

प्रकाशदायी डायोडस्च्या सहाय्याने यातील इष्ट ते अंक दर्शविता यतात. प्रकाशित बिंदूच्या (ठिपक्याच्या) रूपात दशांश चिन्हही दर्शविण्याची योजना करता येते.

हे सर्व अंक चौकोनी थाटाचे, व वक्र रेषा कुठेच नसलेले असे नेहमीपेक्षा थोडे वेगळे दिसतात, पण सवयींने परिचयाचे होतात. 8 या अंकाच्या प्रदर्शनाकरता सर्वच्या सर्व सात डायोड प्रकाशित व्हावे लागतात, तर 1 च्या प्रदर्शनाकरता केवळ दोन डायोड प्रकाशित होऊन भागते, हे सहज ध्यानी येईल.

जास्तीत जास्त जितक्या अंकांची संख्या लघुगणकाच्या (प्रदर्शन) क्षमतेत बसणार असेल, तितक्या प्रत्येक अंकाच्या जागी अशी सात-सात डायोडांच्या बनलेल्या द्वि-चौकोनांची एक एक मांडणी सिद्ध ठेवलेली असते. संख्येतील कोणत्या स्थानी कोणता अंक प्रदर्शित व्हावयाचा आहे यावर, केवळ तो दर्शविणाऱ्या डायोडांतूनच वीज-प्रवाह जावा (सातपैकी बाकीच्या डायोडांतून जाऊ नये) अशी आतील सरण्यांची जुळणी असते. आणि हे कसे जमविले जाते, हे तर नियंत्रण विभागाच्या कार्याचे मुख्य कलम आहे. प्रकरण १५ मध्ये, सूचना-क्रमांक-धारिणी रजिस्टरवर (Instruction Counter वर) नोंदलेल्या अंकांनी दर्शविलेल्या नेमक्या पत्त्यावरच वीजस्पंद कसे पोचविले जातात याचा खुलासा केला आहे. त्याच धर्तीवर सूक्ष्म सरण्या बांधून, संबंधित संख्येतील त्या त्या स्थानावरचे इष्ट तेच डायोड प्रवाही आणि प्रकाशित व्हावेत हे येथे साधलेले असते; आणि परिणामी, लघुगणकाने प्रदर्शित केलेली संख्या, तो वापरणाऱ्या व्यक्तीस स्पष्ट दिसते! या योजनेस Seven–Segment Numeric Display म्हणतात. आपण तिला ' सप्तरेख अंकलेखन ' किंवा ' सप्तरेख अंक प्रदर्शन ' म्हणू.

लघुगणकाकडून अक्षरात्मक (alphameric) मजकुराच्या लेखनाची/प्रदर्शनाची अपेक्षाच नसते. पण संगणकातून बाहेर पडणारा अक्षरात्मक मजकूर, काही प्रसंगी, याच तंत्राचा उपयोग करून कसा प्रदर्शित केला जातो ते आकृती १७·३ वरून कळेल.



(अ) (ब)

आकृती १७·३ इष्ट तेवढेच बिंदू (dots) प्रकाशित करून दर्शविता येणाऱ्या अक्षरांचे स्वरूप

(अ) मध्ये एकंदर ३५ (७×५) पैकी तर (ब) मध्ये एकंदर ६३ (९×७) पैकी इष्ट ते बिंदू प्रकाशित केले आहेत. त्यांवरून O. K. K ही अक्षरे सहज वाचता येतात.

लघुगणकामध्ये संख्या लिहिली जाताना होणारा एक महत्त्वाचा फरक आता लक्षात घेऊ:—आपण संख्या (अर्थात दशमान संख्या) कागदावर लिहिताना तिच्यातील सर्वात डावीकडचा महत्तम मूल्याच्या स्थानचा अंक आधी (पुरेसा डावीकडे) लिहितो. व नंतर उतरत्या मूल्यांचे अंक क्रमाने त्याच्या उजवीकडे लिहीत जातो. संख्या

उच्चारताना / वाचतानाही हाच क्रम योजतो, लघुगणकाला संख्या सांगताना, म्हणजेच संख्येतील अंकांची बटने दाबताना, हाच क्रम आपण स्वाभाविकपणे पाळतो. पण सांगितली जाणारी संख्या लिहून घेताना लघुगणक एक फरक करतो. समजा, 61753248 (सहा कोटी, सतरा लक्ष, त्रेपन्न हजार दोनशे अठ्ठेचाळीस) ही संख्या लघुगणकाच्या सुपुर्द करायची आहे. मग आपण प्रथम 6 चे बटण दाबतो. ते दाबताच त्या अंकाचे लेखन होते, पण (लघुगणकाच्या अंकदर्शन खिडकीत) ते सर्वात उजवी-कडच्या स्थानी होते, म्हणजे त्या स्थानी 6 प्रकाशित होतो, नंतर दशलक्ष स्थानच्या 1 या अंकाचे बटन दाबताच या 6 चे स्वरूप तत्क्षणी पालटते. त्याच्या जागी 1 हा अंक उठतो व तिथून हाकलला गेलेला 6 डावीकडच्या दहंच्या स्थानी जाऊन तेथे प्रकाशित होतो. नंतर पुढच्या 7 या अंकाचे बटन दाबताच तो, आता सर्वात उजवीकडे असलेल्या 1 ला खो देऊन ती जागा पटकावतो, विस्थापित झालेला 1 त्याच्या डावीकडच्या 6 ला आणखी डावीकडे ढकलून त्याची जागा घेतो व 6 उजवीकडून तिसऱ्या स्थानावर जाऊन स्थिरावतो, आणि याप्रमाणे शेवटपर्यंत घडते. सारांश, आपण आपल्या नेहमीच्या पद्धतीने संबंधित संख्येतील अंक लघुगणकाला पुरवीत असताना, प्रत्येक नव्या अंकाचे बटन दाबले जाताच, तो सर्वात उजवीकडे लिहिला जातो व लिहिलेले आधीचे अंक आपला क्रम न बदलता प्रत्येकी एक एक घर डावीकडे **सरकतात.** प्रकरण १२ मध्ये सरक-सरणीची कार्यपद्धती सांगितली आहे. त्याच तत्त्वावर येथे वरील घटना घडतात. सांगावयाच्या संख्येत एकंदर किती अंक आहेत याची आगाऊ काहीच सूचना आपण लघुगणकाला देत नाही—देण्याची व्यवस्था नसते—त्यामुळे वरील सरक पद्धतीने संख्या लिहिली जाणे हाच एकमेव अनिवार्य मार्ग ठरतो व सर्व अंक त्यांच्या योग्य स्थानी लिहिले जातात. लघुगणक ही संख्या त्याच्या अंतर्भागातील नियोजित रजिस्टरवर पुढील प्रक्रियेकरता लिहून घेतो हे मुख्य काम तर या वेळी होतेच, पण ती सांगताना (म्हणजेच अंकांची बटने दाबताना) काही चूकभूल तर झाली नाही ना, याची तपासणी शक्य व्हावी म्हणून सांगितलेल्या संख्येच्या प्रदर्शनाची (display ची) उपरोक्त सोय येथे केलेली असते. पुढे, या संख्येशी, नंतर सांगितल्या जाणाऱ्या संख्येची जी गणिती प्रक्रिया (उदा. गुणाकार) व्हावयाची असते, ती प्रक्रिया घडविणाऱ्या चिन्हाचे (येथे × चिन्हाचे) बटन दाबताच उपरोक्त (पहिली) संख्या खिडकीतून पुसली जाते. योग्य त्याच प्रक्रियेचे बटन दाबले गेले, का त्यात काही चूकभूल झाली याचा मात्र मागे काही दृश्य पुरावा राहात नाही. तेव्हा गणिती प्रक्रियेसंबंधीचे बटन दाबताना अधिक काळजी घेणे आवश्यक असते. पुढे दुसरी संबंधित संख्या, नंतर संबंधित गणिती प्रक्रिया इ. वरीलप्रमाणेच लघुगणकाला पुरवावयाचे. हे होत असताना तो त्यांचे योग्य ते गणित करीतच असतो, व गणित सांगण्याचे संपताच (किंवा मधल्या एखाद्या टप्प्यावर), = चिन्हाचे बटन दाबताच उदाहरणाचे अंतिम उत्तर (किंवा त्या टप्प्यावरचे मधले उत्तर) हात जोडून पुढे उभे असते !

वर्ग, वर्गमूळ इ. कृतींच्या बाबतीत दुसरी संख्या सांगण्याचा प्रश्नच नसतो. संबंधित संख्या सांगून नंतर वरीलपैकी इष्ट ते (समजा संख्येचा वर्ग काढणारे x^2 चे) बटन दाबताच तिचा वर्ग तयार असतो ! अगदी ती संख्या मोठी आठ-अंकी असली तरी तिचा वर्ग तत्काल तयार असतो ! बटन दाबून हात मागे घ्यायलासुद्धा जास्त वेळ लागेल, इतक्या अल्पावधीत लघुगणकाने आपले काम केलेले असते व त्याच्या प्रदर्शन खिडकीत उत्तर तयार असते ! उपरोक्त आठ-अंकी संख्येचा वर्ग खिडकीत मावेल असा बसवण्याकरता त्याने घातांकाचा उपयोग केलेला असतो हे आणखी विशेष.

लघुगणकाने काढलेले उत्तर बरोबर असल्याचे कागदपेन्सिलीच्या साह्याने तपासून पाहण्यास आपल्याला कैक मिनिटे लागतील. तेवढ्या वेळात तो आणखी शेकडो उदाहरणांची उत्तरे काढून देईल. आणि त्याची उत्तरे हमखास बरोबरच असतात.

या साधनाच्या (आणि त्याहीपेक्षा संगणकाच्या) कार्यपद्धतीतील पायरी-पायरीवर घडणाऱ्या घटनांचे कार्यकारणभाव आपल्याला नीट समजले आहेत; व घातलेल्या उदाहरणाचे उत्तर ते तत्काल व बिनचूक काढून देते यात विशेष काही नाही, हे मनाला पटले आहे. आणि तरीही, त्याच्या कामगिरीची तावडतोबी पाहिल्यावर, त्याच्यापाशी काही मनकवडेपणा, भुताटकी यांची सिद्धी किंवा अंतर्ज्ञानाची शक्ती तर नाही ना ? असा भ्रम मनात आल्याशिवाय राहात नाही!

वाचकांनी मिळेल तो लघुगणक (Caclulator) हाताळण्याची संधी साधून वरील विधानातील सत्य स्वतः अनुभवावे, म्हणजे मग, लघुगणकाच्या व पर्यायाने संगणकाच्या केवढ्या महान, आश्चर्यकारक शक्तीचे रहस्य, त्यांनी येथवरच्या अभ्यासातून समजाऊन घेतले याची यथार्थ कल्पना त्यांना येईल. संगणकपराक्रमाच्या मूळ आख्यानात ही लघुगणकाची लघुकथा मी सांगितली, ती एवढ्याकरता.

संगणकाच्या उपयोगांची क्षेत्रे.

पुस्तकातील येथवरच्या विवेचनात आपण संगणकाची अंतर्रचना, कार्यपद्धती व आनुषंगिक विषय अभ्यासले. या विज्ञानशाखेतील आधुनिक व आगामी प्रगतीचाही परिचय करून घेतला. आता या साधनाच्या उपयोगितेविषयी विवेचनपूर्वक सांगावयाचे ठरवल्यास, त्या विवेचनाचा, या झालेल्या ग्रंथापेक्षाही मोठा ग्रंथ होईल. या साधनाच्या नावावरून व्यक्त होणारा व आपण मुख्यत्वे चर्चिलेला, ' अंक, संख्या यांचे गणित सोडवून देणे ' येवढाच याचा उपयोग असल्याचे वाचकांनी समजू नये, कोणत्याही विषयासंबंधी कसलीही समस्या असो, ती योग्य गणिती स्वरूपात व्यक्त करणे शक्य झाले रे झाले, की ती सोडविण्याची पुढची सर्व जबाबदारी या साधनाने उचललीच असे समजावे. पुस्तकाच्या सुरुवातीच्या निवेदनामध्ये संगणकाच्या उपयोगाच्या काही महत्वाच्या क्षेत्रांचा उल्लेख केला आहे. आता कमी महत्त्वाच्या क्षेत्रांचाही उल्लेख करावयाचा म्हटल्यास, त्यांच्या नुसत्या यादीलाच काही पाने लागतील. वाचकांना येथे असे आव्हान देता येईल, की आपल्या कल्पनेला ताण देऊन, त्यांनी आडवळणाचे व अगदी अनपेक्षित

असे ज्ञान-विज्ञानाचे एखादे क्षेत्र सुचवावे, की ज्यात (त्यांच्या मते) संगणकाला काहीच काम नसेल. त्यांचा अंदाज हमखास चुकेल. त्या क्षेत्रातही तज्ञांनी एव्हाना संगणकाची मदत घेतली असेलच !

बुद्धिबळाच्या अनेकानेक अवघड डावांतील उभय प्रतिस्पर्ध्यांच्या खेळींची नोंद संगणकाच्या स्मृतिसंग्रहामध्ये राहू शकते. या सर्व गोष्टींचे स्मरण डोक्यात ठेवू शकणारी व्यक्ती अत्यंत विरळा असेल. पण संगणक मात्र त्याच्या स्मृतींच्या व त्यांवरून निघणाऱ्या सर्व वैकल्पिक डावपेचांचे गणित करून निघणाऱ्या उत्तरांच्या आधारे, एखाद्या अवघड डावात अगदी बिनचूक, योग्य खेळी सुचवू शकतो !

संगीतरचनेचे क्षेत्र हे संगीतकाराच्या प्रतिभेचे क्षेत्र. पण सर्व स्वरांच्या, तालांच्या सर्व परस्पर-संबंधित रचनांची व त्यांच्या परिणामांची निव्वळ यांत्रिकी नोंद संगणकाच्या भांडारात करून ठेवता येते, व तिच्या आधारावर, तो नव्या संगीतरचना सुचवू शकतो.

एका भाषेतील मजकुराचे दुसऱ्या भाषेत भाषांतर करण्याच्या कामाचा हाच प्रकार. पण या बाबतीत, प्रत्येक भाषेतील शब्दांचे विविध अर्थ व छटा यांची दखल घेऊन, मागील-पुढील संदर्भांच्या अनुरोधाने बरोबर भाषांतर करणे या कामाला मानवी बुद्धीच अधिक योग्य ठरते; संगणकाचा प्रभाव अद्याप तरी या कामात पडू शकलेला नाही.

खानेसुमारीच्या वेळी लक्षावधी, कोट्यावधी व्यक्तींच्या मिळणाऱ्या माहितीचे, व्यक्तीचे वय, लिंग, जात, निवासक्षेत्र, आरोग्य, शिक्षण, व्यवसाय, आर्थिक स्थिती.... इत्यादींच्या आधारावर काही उपयुक्त वर्गीकरण करून निष्कर्ष काढण्याची योजना ठरली व तीकरता शेकड्यांनी कारकून नेमून काम चालू ठेवले, तरी एका खानेसुमारीचे काम संपण्याआधी दुसऱ्या खानेसुमारीची वेळ येईल ! या कामी तरी, संगणकाचा उपयोग अनिवार्य ठरतो.

हवामानाचे अंदाज वर्तविण्याच्या शास्त्राच्या बाबतीत, परिस्थिती यापेक्षाही अवघड आहे. देशभरच्या हवामान वेधशाळांकडून व अलीकडील काही वर्षांत फिरत्या वेध-शाळांकडून-उपग्रहांकडून-वातावरणाच्या निरीक्षणाचे आकडे मिनिटामिनिटाला येत असतात. त्या माहितीवरून पुढच्या काही तासांच्या संभाव्य हवामानाचे जे गणित करावयाचे असते ते मुळातच फार क्लिष्ट असते. पण ते अति त्वरेने करावयाचे असते, ही गोष्ट, याबाबतीत अधिक महत्त्वाची, अधिक बंधनकारक असते. कॉम्प्युटरच ते काम करू जाणे !

हवामानाचे गणित करून निष्कर्ष काढण्याला मध्ये काही मिनिटांचा, तासांचा तरी अवधी मिळतो, पण अवकाशात झेपावलेल्या यानाच्या प्रवासातील क्षणोक्षणीच्या परि-स्थितीचे गणित करून निष्कर्ष काढण्याला किती अवधी असतो ? येथे मुळीच अवधी नसतो ! येथे एक सहस्त्रांश सेकंदाचा विलंबही यानातील अवकाश-वीरांच्या सुरक्षिततेला बाधक ठरण्याचा संभव असतो. अब्जावधी डॉलर्स/रुबल्स खर्च झालेल्या प्रकल्पाच्या यशावर पाणी पडण्याचा संभव असतो, हे गणिती काम मानवी बुद्धीच्या त्वरेने होणारे

नव्हेच ! पण, मानवानेच सततच्या संशोधनाने, परिश्रमाने निर्माण केलेला संगणक मात्र हे काम बिनचूक, विश्वासार्हतेने करतो.

अष्टावधानी संगणक. इतके क्लिष्ट गणित त्वरेने सोडविणाऱ्या साधनाच्या अंतर्रचनेचा विस्तार केवढा मोठा व गुंतागुंतीचा असेल, व त्याच्या निर्मितीकरता किती प्रचंड खर्च लागला असेल, हे आता आपण जाणू शकतो. असे महागडे साधन एकावेळी फक्त एकाच कामाने अडविले जावे, हा तोट्याचा व्यवहार शास्त्रज्ञ-तंत्रज्ञांना व निर्मात्या कारखानदारांना रुचणारा नव्हता. त्यांनी त्याच्या अंतर्गत गुंतागुंतीत आणखी योग्य ती भर टाकली, व एकापेक्षा अधिक समस्यांची गणिते त्याने नोंदवून घ्यावीत व त्या समस्यांच्या प्रवर्तकांना, काही मिनिटांच्या अंतराने, आळीपाळीने, त्यांच्या त्यांच्या समस्यांची मध्यंतरची किंवा अंतिम उत्तरे कळवीत राहावे, असे ' अष्टावधानी कर्तृत्व ' त्यांनी या साधनाला मिळवून दिले. या विशेष योजनेला Time Sharing म्हणतात. एका वेळी ३० पर्यंत वेगवेगळ्या संशोधकांची (साध्या शब्दात, हे साधन वापरणाऱ्या गिऱ्हाइकांची) गणिते हा अनेकावधानी संगणक सोडवीत राहतो ! बरे, त्या ३० संशोधकांनी संगणकाच्या जवळ जाऊन बसण्याचीही जरूरी नाही. आपापल्या प्रयोगशाळांत, अभ्यासिकांत बसून टेलीटाइपरायटर द्वारा त्यांनी आपापल्या समस्या, प्रस्थापित सांकेतिक भाषेत दूर अंतरावरच्या या संगणकाला कळवायच्या व थोडे थांबायचे, इतकेच त्यांना करावे लागते. त्यांच्या खोलीतच त्यांच्या समस्येचे उत्तर टंकित किंवा ' कॅथोड रे ट्यूब' सारख्या साधनाने प्रकाशित होऊन त्यांना मिळते. मिळालेल्या उत्तरांवरून आणखी पुढचे प्रश्न निघत असल्यास, त्यांनी जरूर तर संगणकाला ते पुनः विचारावेत; पुनः थोड्या वेळाने त्या प्रश्नांची उत्तरे मिळतात. थोडक्यांत, हा त्रिंशतावधानी संगणक व त्याचे उपयोगकर्ते यांमध्ये आवश्यक ते संभाषण चालू राहते, उपयोगकर्त्यांच्या समस्या सोडविल्या जातात आणि संगणकाच्या बहुमोल सेवेचा लाभ एकाच वेळी अनेकांना घेता येतो !

अशा या प्रगतिशील साधनाचे व मानवाचे संबंध उत्तरोत्तर कसे होत जातील याविषयी तज्ञांचे विचार व अंदाज मोठे मनोरंजक आहेत. पुढे थोडक्यात ते सांगितले आहेत.

मानव आणि भविष्यकालीन प्रगत संगणक यांचे संबंध : संगणकाच्या घडणीत व कार्यक्षमतेत सतत प्रगती होत आहे व मानवी बुद्धीचे एकेक पैलू तो हळूहळू आत्मसात् करून टाकेल असा वाढता संभव दिसू लागला आहे. याच्या पुष्ट्यर्थ खालील सत्य गोष्टी सांगता येतात :

' मागील अनुभवांवरून निष्कर्ष काढून पुढचे वर्तन ठेवावे ' या रीतीने वागून मनुष्यप्राणी शिकत असतो व सुधारत असतो. पण तसे म्हटल्यास, जन्मतः किंवा बालपणी त्याच्या अनुभवांचा संचय अत्यल्पच असतो. आईवडील, गुरुजन यांच्या शिकवणुकीतून व भोवतीच्या जगाच्या निरीक्षणातूनच त्याचा ज्ञानसंचय वाढत जातो. म्हणजे, बाहेरून मिळणाऱ्या ज्ञानकणांनीच त्याचे ज्ञानभांडार वाढत जाते व त्याचा उपयुक्त अन्वयार्थ

कसा लावायचा, याची जाणही वाढत जाते. संगणकाच्या बाबतीतही या गोष्टी लागू आहेत. त्याच्या ज्ञानसंग्रहात व संग्रहातील ज्ञानकणांचा उपयोग त्याने अधिकाधिक प्रगत रीतीने कसा करावा, यासंबंधीच्या तदंतर्गत यंत्रणांत भर टाकण्याचे तज्ञ मंडळींचे प्रयत्न सतत चालू आहेत. म्हणजे, हे तज्ञ, तंत्रज्ञ संगणकाला नवनवीन धडे ' शिकवीत ' असतात व तो ते ' शिकत ' असतो !

मानवाच्या ज्ञानधारणेची मर्यादा पाहता, त्याने किंवा संगणकाने ग्रहण करावयाचे ते सर्व ज्ञानकण जर " १ ", " ० " या द्विमानांकांच्या (Bits च्या) अंतिम स्वरूपात विश्लेषित केले तर मानवाच्या मेंदूची धारणक्षमता सामान्यपणे $१०^{१२}$ ते $१०^{१५}$ द्विमानांकांची असते. तर सध्याच्या मोठ्यात मोठ्या संगणकाची धारणक्षमता $१०^{१२}$ द्विमानांकांची आहे. म्हणजे आज तरी, मानवाची ज्ञानधारणक्षमता संगणकाच्या क्षमतेच्या कैक पटीने मोठी आहे. पण हा फरक थोड्याच वर्षांत भरून निघेल असा विश्वास आहे. दुसरी गोष्ट, ज्ञात असलेली एखादी बारीकशी माहिती आठवायला आपल्याला सुमारे १ सेकंद वेळ लागतो; (पुष्कळदा यापेक्षा बराच वेळ लागतो, तर कधी कधी ती नेमकी गोष्ट आठवतच नाही ! आपण ती भूतकाळात केव्हातरी वाचली / पहिली / ऐकली होती येवढेच आठवते;) पण संगणक त्याच्या स्मृतिभांडारातला संबंधित माहितीचा कण बिनचूक हुडकून काढतो व या कामाला (retrieval ला) त्याला केवळ सुमारे $\frac{१}{१०}$ सेकंद पुरते ! आणि अशा उपलब्ध माहितीवर आधारित गणिती किंवा तत्सम निर्देशित कृती करण्यातील त्वरेच्या बाबतीत तर मानवी क्षमता संगणकाच्या क्षमतेच्या पासंगालाही पुरत नाही. या बाबतीत संगणक माणसापेक्षा सहज हजार पटीने श्रेष्ठ आहे

पण हे सर्व खरे असले तरी, मानवीबुद्धीचे विविध पैलू आत्मसात् करीत करीत संगणक मानवाच्या बरोबरीला कधीकाळी येईल हे कबूल करायला मानव तयार नाही. याचे कारण असे असावे– ' बुद्धि ' नावाच्या गुणाच्या दृष्टीने मानवाला सर्व प्राणिमात्रांत श्रेष्ठ स्थान प्राप्त झाले असल्याने व इतर प्राणी व माणूस यांमधील या बाबतीतील अंतर उत्तरोत्तर वाढतच असल्याने, साहजिकच हा श्रेष्ठत्वाचा गंड माणसाच्या अंगभूत झाला आहे. त्यामुळे, या बाबतीत आपल्याला कोणी प्रतिस्पर्धी होऊ शकेल, हे त्याला कधीच पटायचे नाही. पण थोड्या त्रयस्थ दृष्टीने विचार केल्यास मोठे मजेदार निष्कर्ष निघतात :

संगणक आणि मानवी मेंदू यांची बरोबरी होऊ शकेल या घटनेची संभाव्यता फेटाळून लावताना मुख्य प्रतिपादन केले जाते ते म्हणजे – ' काही झाले तरी हे साधन एक जड पदार्थ आहे; त्याला भाव-भावना असणार नाहीत, स्वतःबद्दल विचार करण्याची– अंतर्दर्शनाची–क्षमता असणार नाही, व मुख्य म्हणजे, एखादी नवी गोष्ट उत्स्फूर्तपणे सुचण्याची क्षमता असणार नाही; अशा अनेक दृष्टींनी ते अपूर्णच असणार तेव्हा मानवी मेंदूशी ते स्पर्धा कशी करणार ? त्याची कार्यपद्धती ज्ञात शास्त्रीय नियमांवरच आधारित असणार, तर मेंदूची कर्तृत्वशक्ती ही साक्षात् ईश्वराची देणगी असल्याने तिचे संचालन,

विज्ञानाच्या नियमाच्या पलिकडील गूढ (supernatural) नियमांन्वये होणारे – अधिवैज्ञानिक – आहे. मग या दोघांची बरोबरी कशी होणार ? ' पण ज्ञान-विज्ञानाची क्षितिजे रुंदावत जात आहेत तसतसा हा अधिवैज्ञानिकतेचा दावा क्षीण होत जाणार हे उघड आहे. चराचर सृष्टीच्या चित् आणि जड स्वरूपातील अनेक चमत्कारांची रहस्ये आजवर उलगडली आहेत व क्रमाने उलगडत आहेत, व ती विज्ञानगम्य असल्याचे सिद्ध झाले आहे. तेव्हा, मानवी बुद्धीचे, अर्थात् मानवी मेंदूच्या कर्तृत्वशक्तीचे रहस्यही कधीतरी उलगडेलच असे साधार वाटते.

हे खरे की, मानवी मेंदू या पदार्थाविषयी आज आपल्याला अवगत असलेले ज्ञान अत्यल्प आहे. पण त्याविषयी काही कळणारच नाही हा दावा केव्हाच खोटा ठरला आहे. मेंदूतील व ज्ञान-संस्थेतील म्हणजेच चेतनी-संस्थेतील (nervous system मधील) सर्व कार्य हे रासायनिक शक्ति व विद्युतशक्ति यांनी युक्त असलेल्या विक्रियां-वर आधारित असते व ज्ञानतंतूंच्या अब्जावधी पेशी (neurons) व तत्सम अन्य सूक्ष्म घटक यांची जी कार्ये चालतात ती विविध शास्त्रीय नियमान्वयेच चालतात हे आता उमगले आहे. मोठी उणीव आहे ती ही की, ही कार्ये अत्यंत गुंतागुंतीची असल्याने व त्यांचे टप्पे प्रायः असंख्य असल्याने त्यांचे स्पष्ट व पुरेसे ज्ञान व्हायला आणखी बराच काळ लागेल. पण आपल्या ज्ञानाच्या प्रगतीच्या इतिहासावरून अशी आशा बाळगायला हरकत दिसत नाही की मेंदूच्या कार्यपद्धतीचे कोडे केव्हा ना केव्हा उलगडे-लच ! आणि मग, मेंदूच्या कार्याची नक्कल करणाऱ्या असंख्य सरण्या–त्या कमालीच्या गुंतागुंतीच्या का असेनात–उपलब्ध झाल्या, म्हणजे त्यांच्या साह्याने, मानवी मेंदूचा स्पर्धक, हा परमविकसित संगणक अथवा कृत्रिम मेंदू निर्माण होऊ शकेल !

येथे मग अशी शंका व भीति वाटते की, हा प्रतिस्पर्धी तसाच पुढे जाऊन मानवावर मात तर करणार नाही ? माणसाच्या बुद्धीचे स्थान दुय्यम आणि कदाचित निरुपयोगी, टाकाऊ तर होणार नाही ? पण येथवरच्या उपपत्तीचाच आधार घेऊन म्हणता येते, की हे घडणार नाही. संगणक हा सध्या माणसाचा सेवक आहे, तर भविष्य-काळात तो महत्त्वाचा सहकारी बनेल, पण माणसाचा स्वामी होऊ शकणार नाही. कारण त्याचा सहकार जास्तीत जास्त कसा मिळवायचा या संबंधीच्या योजनेचा विधाता अखेर बुद्धिमान् मानवच राहील !

तर असा हा संगणक. मानवाचे अद्भुत अपत्य ! मानवाच्या बुद्धीच्या अनेक पैलूंच्या बाबतीत त्याच्यावर मात करणारे, पण अखेर त्याच्याच आज्ञेनुसार काम कर-णारे ! आपण त्याचे गुपित, त्याच्या कर्तृत्वाचे मर्म समजावून घेतले. तटस्थ बुद्धीने पाहि-ल्यास हा मोठाच अभ्यास झाला याच्याशी वाचक सहमत होतील.

परिशिष्ट

विधानांचे तर्कशास्त्रीय व गणिती विश्लेषण

(Propositional Calculus)

८ व्या प्रकरणात आपण जी चर्चा केली ती प्रायः उदाहरणार्थ घेतलेल्या 'गटांच्या', 'वर्गांच्या' किंवा हल्लीच्या शालेय गणिताच्या भाषेत सांगायचे तर 'सटांच्या' परस्परसंबंधांविषयी होती. तेथे चाळीतल्या मुलांचे, कॉम्प्युटरची पुस्तके वाचणाऱ्या वाचकांचे वर्ग उदाहरणार्थ घेतले होते. पण आपल्या कसलेही गट किंवा वर्ग तेथे चालले असते. अशा वर्गा-वर्गांमधील तार्किक संबंध व ते अधिक स्पष्ट करून दाखविणाऱ्या गणिती प्रक्रिया याविषयी माहिती तेथे सांगितली. त्या तार्किक संबंधांना यथार्थतेने Logic of Classes आणि गणिती प्रक्रियांना Algebra of Classes म्हणतात. तर्कसरण्यांच्या (Logic Circuits च्या) रचनेकरता त्या माहितीची आवश्यकता कशी असते हे आपण ८ व्या व ९ व्या प्रकरणात पाहिले; आणि पुढे १० व्या प्रकरणात, प्रत्यक्ष बेरीज-वजाबाकी करणाऱ्या बीजसरण्यांचे कार्य या तार्किक-गणिती प्रक्रियांवर अधिष्ठित असल्याचे पाहिले.

पण तार्किक संबंध व त्यांनुसारच्या गणिती कृती यांचे प्रयोजन नुसते 'वर्गां'पुरतेच नाही, तर लिहिण्या-बोलण्यात अनेकदा येणाऱ्या गुंतागुंतीच्या विधानांमधील तर्कसंगतता अथवा विसंगति स्पष्ट होण्याकरता व त्यातून नेमका योग्य तो निष्कर्ष काढण्याकरताही त्यांचा उपयोग होतो. विधानांच्या तर्कसंगत व तदनुसार केलेल्या गणिती विश्लेषणाला 'Propositional Calculus' किंवा 'Sentential Calculus' म्हणतात. हा अभ्यास संगणक-विज्ञानातला अत्यावश्यक भाग नाही. पण काही तज्ञांच्या मते, त्याची रूपरेषा सांगितल्याने पुस्तकातील येथवरच्या चर्चेला काही एक पूर्णपणा येणार आहे. यास्तव, या विषयाच्या, आधीच्या विवेचनाशी साम्य असलेल्या भागाची माहिती पुढे थोडक्यात सांगितली आहे.

'**विधान**' शब्दाची व्याख्या करणे फारसे अवघड नाही. कर्ता, कर्म, क्रियापद यांचे बनलेले किंवा अकर्मक क्रियेच्या बाबतीत कर्माचीही जरूरी नसलेले '**वाक्य**' हे एक विधान असते हे आपण सहज ज्ञानाने जाणतो. "कारले कडू असते," "लोकमान्य टिळकांनी गीतारहस्य लिहिले," ही विधाने होत. एवढेच नव्हे, तर "६+७ = १३" हेही एक विधान आहे. पण याचप्रमाणे "कारले गोड असते," "गडकऱ्यांनी गीतारहस्य लिहिले" किंवा "६+७ = १५" हीसुद्धा विधाने होत. नंतरची तीन

विधाने वस्तुस्थितीशी विसंगत आहेत, खोटी आहेत हे उघड आहे. पण तर्कशास्त्रदृष्टया तीसुद्धा विधानेच आहेत. यावरून विधानाचे लक्षण ठरते ते असे की, विधानातील कथन सत्य किंवा असत्य असू शकेल पण ते एकाच वेळी सत्यही आणि असत्यही, दोन्हीही असू शकणार नाही.

व्याकरणाच्या दृष्टीने वरील उदाहरणांतील सर्व वाक्ये विधानार्थी (Indicative Mood ची) आहेत. प्रश्नार्थी वाक्ये, उदा. "तुमचा घरनंबर किती आहे?" आज्ञार्थी वाक्ये, उदा. "माधुरी, थोडे पाणी आण", विध्यर्थी वाक्ये, उदा. "प्राण्यांवर दया करावी....", संभाव्यतादर्शक वाक्ये, उदा. "त्याने निष्काळजीपणे वाहन चालविले असावे" आणि उद्‌गारवाचक वाक्ये, उदा. "केवढा विशाल आहे हा जलाशय!" ही वाक्ये व्याकरणाच्या दृष्टीने विधाने आहेत; पण तर्कशास्त्रदृष्टया ती विधाने आहेत का नाहीत याची चर्चा येथे प्रस्तुत नाही. आपणास त्या जातीच्या वाक्यांचा विचार करावयाचा नाही मात्र संकेतार्थी वाक्यांचा विचार आपणांस करावा लागेल. अशा वाक्यातील जोडवाक्यांपैकी उत्तरार्धातले वाक्य हे निश्चित विधान असते आणि याकारणे सबंध संयुक्त वाक्यही विधान असते, उदा. "जर तू पास झालास, तर मी तुला बक्षीस देईन."

'जर' 'तर' ही संकेतार्थदर्शक अव्यये आहेत. त्यांनी दोन किंवा अधिक वाक्ये जोडली जातात आणि त्यांमधील विशिष्ट संबंध प्रदर्शित होतो, 'आणि', 'किंवा' 'पण', 'परंतु', 'कारण', 'म्हणून', 'तरी' किंवा 'तरीही', 'नाहीतर' हे शब्दही उभयान्वयी अव्यये आहेत. दोन किंवा अधिक वाक्यांना–विधानांना–जोडण्याच्या कामी आपण त्यांचा उपयोग करतो व त्यांच्या साह्याने, तयार झालेल्या संयुक्त विधानातून इष्ट तो भावार्थ व्यक्त करतो. या उभयान्वयी शब्दांना '**विधानबंध**' म्हणणे योग्य ठरेल. या बंधांनी बांधली गेलेली जी एकेकटी सुटी विधाने असतात त्यांना '**घटकविधाने**' म्हणावे व ओघानेच, त्यांपासून बनलेल्या निबद्ध विधानाला '**संयुक्त-विधान**' म्हणावे.

तर्कशास्त्रीय परिभाषेत घटकविधानांना '**परिसर**' (Premises) म्हणतात. या परिसरात असलेल्या – परि-स्थित – घटकांची बनते ती 'परिस्थिति' होय, आणि त्यांच्या साकल्यातून – संयुक्त विधानातून – दर्शविला जातो तो '**निष्कर्ष**' (Inference) होय. '**परिस्थिति**' आणि '**निष्कर्ष**' या शब्दांनी व्यक्त होणारे भावार्थ, पुस्तकात अनेकदा विवेचिलेल्या अनुक्रमें 'निविष्ट' (Input) आणि 'उद्‌गत' (Output) या संज्ञांनी व्यक्त होणाऱ्या भावार्थांशी समानता दर्शवितात.

आता चर्चेकरता काही विधाने घेऊ :—

१. यंदा पाऊस पुरेसा होईल. २. धान्याचे भाव उतरतील. ही विधाने स्पष्ट आहेत. त्याचप्रमाणे ३. यंदा पाऊस पुरेसा पडणार नाही. ४. धान्याचे भाव उतरणार नाहीत. ही सुद्धा आपल्या व्याख्येत बसणारी विधानें आहेत. पुढे, वेगवेगळी अव्यये

(विधानबंध) योजून या विधानांपासून वेगवेगळे परस्परसंबंध दर्शविणारी संयुक्त विधाने शक्य होतात, उदा.—

५. यंदा पाऊस पुरेसा होईल **आणि** धान्याचे भाव उतरतील.

६. यंदा पाऊस पुरेसा होईल **किंवा** धान्याचे भाव उतरतील.

७. यंदा पाऊस पुरेसा होईल **किंवा** होणार नाही, **पण** धान्याचे भाव उतरतील.

८. यंदा पाऊस पुरेसा होईल, **तरीही** धान्याचे भाव उतरणार नाहीत.

९. यंदा पाऊस पुरेसा होणार नाही, **तरीही** धान्याचे भाव उतरतील.

वरील घटक विधानात तसेच त्यांच्या बनलेल्या संयुक्त विधानात सांगावयाची ती गोष्ट निश्चितपणे (in indicative mood) सांगितलेली आहे. पण अनेकदा निश्चिततेप्रमाणेच संकेतार्थ (subjunctive mood) हाही कथनाला आवश्यक असतो. उदा.–

१०. यंदा **जर** पाऊस पुरेसा झाला, **तर** धान्याचे भाव उतरतील.

११. यंदा **जर** पाऊस पुरेसा झाला नाही **तर** धान्याचे भाव उतरणार नाहीत.

१२. यंदा **जरी** पाऊस पुरेसा झाला, **तरी** धान्याचे भाव उतरणार नाहीत.

१३. यंदा धान्याचे भाव उतरतील **कारण** यंदा पाऊस पुरेसा पडेल.

१४. यंदा धान्याचे भाव उतरणार नाहीत, **कारण** यंदा पाऊस पुरेसा पडणार नाही.

१५. यंदा पाऊस पुरेसा पडेल, **म्हणून** धान्याचे भाव उतरतील.

१६. यंदा पाऊस पुरेसा होणार नाही, **म्हणून** धान्याचे भाव उतरणार नाहीत.

वरील विधाने वाचतानाच त्यातील काही नकरणात्मक म्हणजे मागे चर्चिलेला NOT हा आशय दर्शविणारी; एक विधान (क्र. ५ चे) ‘ आणि ’ ने जोडलेले, AND चा सह-अस्तित्वाचा आशय व्यक्त करणारे; तर काही ‘ किंवा ’ने जोडलेली, OR चा विकल्पाचा आशय व्यक्त करणारी आढळतात. ‘ पण ’, ‘ तरीही ’ या अव्ययांनी येथे ‘ आणि ’ चेच काम केले आहे; फरक इतकाच की, त्यांनी जोडलेल्या वाक्यांपैकी संबंधित घटकवाक्य नकरणात्मक असते.

प्रथम या उदाहरणांचे वर्गीकरण कसे करता येते ते पाहू. नकरणात्मक विधाने सोडल्यास, बाकीच्यातून एक सामान्य भावार्थ व्यक्त होतो, तो म्हणजे ‘ पाऊस पुरेसा पडणे ’ व ‘ धान्याचे भाव उतरणे ’ या दोन घटनांमधील काहीएक सहअस्तित्व, अथवा एकीमुळे, किंवा एकीनंतर दुसरी घडण्याची निश्चिती, हा होय. हा भावार्थ व्यक्त करणारी विधाने सत्य समजली तर त्यांच्याविरुद्ध भावार्थ व्यक्त करणारी विधाने असत्य ठरतात. पण विधानांचे मूल्यांकन याप्रमाणेच झाले पाहिजे असा आग्रह नाही. विरुद्ध भाव व्यक्त करणाऱ्या विधानांचे मूल्यही सत्य समजता येते, आणि तसे समजले तर उपरोक्त सहअस्तित्वाला पोषक भाव व्यक्त करणारी विधाने असत्य ठरतात. क्र. ८ व ९ ची विधाने बाकीच्या विधानांतील आशयाचे नकरण करणारी असल्याने या (विरोधी) प्रकारात मोडतात.

क्र. १३ ते १६ मध्ये कारण-परिणाम संबंध स्पष्टच दर्शविले आहेत. 'कारण' या अव्ययाच्या उपयोगाच्या वेळी, इतरत्र पूर्वार्धात असलेले पावसासंबंधीचे विधान संयुक्त विधानाच्या उत्तरार्धात लिहितात, हा केवळ भाषेच्या दृष्टीने असलेला फरक आहे.

नकरण (Negation) अर्थात् उलटीकरण

क्र. ८ व ९ या विधानात, आपण मूळ गृहीत धरलेल्या निष्कर्षाचे उलटीकरण किंवा नकरण आढळते. ही उलटीकरणाची (NOT ची) कृती आपण मागे अनेकदा अभ्यासली आहे, या कृतीच्या द्विरुक्तीने–दोन नकरणांनी–पुनः मूळ परिस्थिती व्यक्त होते. पुढील उदाहरणाने हे स्पष्ट होईल :—

(क) " श्री. क्ष यांनी बैठकीत असभ्य वर्तन केले. "

(ख) " श्री. क्ष यांनी बैठकीत असभ्य वर्तन केले, हे खोटे आहे. "

(ग) " असे समजणे चुकीचे आहे की, श्री. क्ष यांनी बैठकीत असभ्य वर्तन केले हे खोटे आहे. " (येथे चुकीचे = खोटे).

'नकरण' हा विधानबंध दर्शविण्याकरता ~ हे चिन्ह योजतात. या किंवा अन्य विधानबंधांची चिन्हे वापरता यावी म्हणून संबंधित विधानेही विशिष्ट चिन्हांनी किंवा चलमूल्य अक्षरांनी (variables नी) व्यक्तविली गेली पाहिजेत व सर्वत्रच चिन्हांची भाषा अवलंबिली पाहिजे हे ओघानेच आले. येथे, 'श्री. क्ष यांनी बैठकीत असभ्य वर्तन केले' या (क) मधील विधानाकरता 'दु' हे अक्षर योजू. (दुर्वर्तनमधील दु घेणे ठीक). मग (ख) मधील विधानाचे भाषांतर '~ दु' असे होते व (ग) मधील विधानाचे भाषांतर '~ (~ दु)' हे होते. आणि दोन्ही नकारांचा छेद जाऊन नुसते 'दु' हे पद उरते व त्याच्या भाषांतरातून 'श्री. क्ष यांनी बैठकीत असभ्य वर्तन केले' हे सिद्ध होते.

पुढे, मूळ विधान सत्यदर्शी समजायचे असल्यास त्यास " १ " या अंकाने, व त्याच्या उलटच्या असत्यदर्शी विधानास " ० " या अंकाने दर्शविता येते. पण येथेही अमुकच विधानाला " १ " ने संबोधले पाहिजे असा आग्रह नाही. मात्र " १ " व " ० " यांनी प्रदर्शित होणारी कोणत्याही एखाद्या विधानाची दोन रूपे ही परस्परांच्या विरुद्ध आशयांची, प्रतिरूप, थोडक्यात, परस्परांचे नकरण करणारी असतात, हा प्रस्थापित संकेत आहे. या परिस्थितीचा स्थितिपट मग पुढीलप्रमाणे मांडता येतो. उपरोक्त 'दु' हेच विधान विचारात घ्यावयाचे असल्यास,

दु	~दु
०	१
१	०

थोडक्यात, ~ या चिन्हाने, विधानाचे मूळ मूल्य १ असल्यास ० व ० असल्यास १

होते; सत्य असल्यास असत्य होते, किंवा असत्य असल्यास सत्य होते.

दोन किंवा अधिक विधानांतील कथितांचे सहअस्तित्व दर्शविणारा विधानबंध ' आणि ' :

' आणि ' या सह-अस्तित्व किंवा संगठन दर्शविणाऱ्या विधानबंधाचा उल्लेख वर आला आहे. संगठनाची (Conjunctive Function ची) कल्पना अधिक स्पष्ट व्हावी म्हणून आणखी एक उदाहरण घेऊ.

" गोळीने वाघाच्या कपाळाचा वेध केला, आणि वाघ खाली कोसळला. "

येथे सांगितलेल्या दोन घटनांमध्ये कारण-परिणाम संबंध व कालाचा आधि-मग संबंध असला, तरी विशेष म्हणजे, त्यांमध्ये एक तऱ्हेची अतूटता आहे; ती आपल्या दृष्टीने महत्त्वाची. एक घटना घडली तर दुसरी घडणारच. म्हणजे दोन्हीही घडणार. एक घडली नाही तर दुसरीही घडणार नाही व त्यानेही पुनः दोन्हीतील अतूटपणा सिद्ध होईल. विधानांचे तर्कानुसारी सांकेतिक भाषेत लेखन करताना हा विशेष आशय व्यक्त करणाऱ्या विधानबंधाकरता (·) हे चिन्ह (टिंब) वापरतात. वरील उदाहरणात ' गोळी लागणे ' इ. विधानाकरता ' ग ' व ' वाघ खाली कोसळला ' याकरता क ही अक्षरे योजल्यास, " ग आणि क " हे संयुक्त विधान " ग · क " असे मांडता येते. नंतर यातील घटक विधाने व संयुक्त विधान यांमधील सत्यासत्याचे संबंध दर्शविणारा स्थितिपट मांडता येतो :

ग	क	ग · क
०	०	०
०	१	०
१	०	०
१	१	१

मागे गटांचे किंवा सटांचे स्थितिपट वाचण्याचा / मांडण्याचा अभ्यास झाला आहे, त्यामुळे विधानांचे स्थितिपट वाचण्यास अडचण पडू नये. प्रस्तुत स्थितिपटातील पहिल्या ओळीचा अन्वय किंवा खुलासा असा :—ग व क यांची प्रत्येकी मूल्ये " ० " असली म्हणजेच त्यांनी प्रदर्शित केलेल्या घटनांपैकी एकही घडली नाही, तर " गोळी लागून वाघ कोसळला " या संयुक्त विधानाचाही प्रश्न उद्भवत नाही, तेही " ० " ठरते. दुसरी ओळ असे सांगते, की ' गोळी लागणे ' इ. विधानाचे मूल्य शून्य आहे, म्हणजे ती घटना घडत नाही आणि (तरीही) ' वाघ कोसळतो ' कारण क हे विधान अस्तिपक्षी आहे. हे कथन ' गोळी लागून वाघ कोसळतो ' या कथनाशी विसंगत आहे, त्यातील आशयाला खोटे पाडणारे आहे, थोडक्यात त्याचे नकरण दर्शविणारे व म्हणून " ० " आहे. तिसऱ्या ओळीचा अर्थ ' गोळी लागते तरी वाघ कोसळत नाही ' असा निघतो. तोही मूळ संयुक्त विधान खोटे पाडतो, त्याचे मूल्य " ० " ठरवतो. चवथ्या ओळीचा

अन्वय, आशय स्पष्ट आहे. किंबहुना ती ओळ आपल्या मूळ उदाहरणाचेच सरळ सरळ भाषांतर आहे.

हा स्थितिपट आणि मागे आपण गटांच्या किंवा बीजसरणीतील निविष्ट संदेशांच्या (Input Signals च्या) बाबतीत अभ्यासलेले AND हा आशय दर्शविणारे स्थितिपट यांमध्ये काहीही फरक आढळणार नाही. यांमध्ये तिसऱ्या स्तंभातील **निष्कर्षात्मक विधानाचे मूल्य** हे पहिल्या दोन स्तंभांत मांडलेल्या **घटकविधानांच्या मूल्यांच्या गुणाकारातून मिळते.** किंबहुना याकरताच, प्रस्तुतचा संगठनाचा (Conjunction चा) आशय दर्शविणाऱ्या विधानबंधाकरता, (·) हे गणितात गुणाकाराची कृती सुचविणारे चिन्ह संकेताने निश्चित केले आहे, असे म्हणता येते.

विकल्पदर्शक (Disjunctive) आशय व्यक्त करणारा विधानबंध ' किंवा ' :

८ व्या प्रकरणातील विवेचनात '**किंवा**' (OR) या शब्दाने वेगवेगळ्या वैकल्पिक गटातील तसेच बीजप्रवाहाच्या निविष्टातील (input signals मधील) ' हा, **किंवा** तो, **किंवा** आणखी एखादा तिसरा एकेकटे ' **किंवा** एकापेक्षा अधिक घटक अस्तिपक्षी असल्यास, फलस्वरूप असलेली उद्गत परिस्थिति (output) अस्तिपक्षी निघते व कोणताही घटक अस्तिपक्षी नसला तरच उद्गत परिस्थिती " ० " असते ' असे सांगितले होते. विधानांच्या बाबतीत तेच लागू पडते. पुढील विधान पहावे :—

" सकाळच्या वेळात शिवरामबुवा धार्मिक पुस्तके वाचीत, **किंवा** बागेत काम करीत. "

येथे एखाद्या दिवशी बुवा धार्मिक वाचन करीत व दुसऱ्या दिवशी बागकाम करीत असे समजण्यास तर मुळीच प्रत्यवाय नाही. पण एकाच सकाळी त्यांनी दोन्ही ार्यक्रम केलेले असणे हेही सहज शक्य ठरते. म्हणजेच, दोन्ही घटकविधानातील आशय अस्तिपक्षी असूनही संयुक्त विधानाचा खरेपणा शाबीत राहतो.

विधान सूत्रबद्ध करण्याकरता ' बुवा धार्मिक पुस्तके वाचीत ' याबद्दल अ (अध्य-यन शब्दातील अ) व ते बागकाम करीत याबद्दल ब (बागकामातील ब) ही अक्षरे योजून व सांकेतिक भाषेत '**किंवा**' शब्दाचे काम $\vee$ या चिन्हाने करतात ते चिन्ह वापरून, हे विधान व त्याचा स्थितिपट पुढीलप्रमाणे मांडता येतात :

विधान— अ $\vee$ ब

स्थितिपट—

अ	ब	अ $\vee$ ब
०	०	०
०	१	१
१	०	१
१	१	१

हा स्थितिपट, सहीसही आपण मागे अभ्यासलेल्या OR आद्याचे, तसेच OR बीजसरणीचे कार्य दर्शविणारा स्थितिपट आहे. येथेही **घटक विधानांचे सत्य/असत्य मल्य दर्शविणाऱ्या अंकांची बेरीज केल्याने संयुक्त विधानाचे मूल्य दर्शविणारे अंक मिळतात.** [१ + १ = १ याविषयीची चर्चा आता अनावश्यक आहे. ८ व्या प्रकरणात याविषयी पुरेसा खुलासा आहे.] दोन्ही घटक विधानातील अस्तित्वदर्शक मूल्यांचा–त्यांच्या संमेलनाचा–समावेश करणाऱ्या या प्रकारच्या (Inclusive Sense असलेल्या) विधानाला ' संमेलनसहित विकल्प ' असे नाव यथार्थ ठरते.

संमेलनरहित विकल्प :

पण विकल्पदर्शक विधानांच्या बाबतीत दुसराही एक प्रकार अनेकदा संभवतो. पुढील उदाहरण पहावे—

" रामू तयारीसाठी पुढे जाईल **किंवा** तुमच्याबरोबर येईल. " येथे रामू दोनपैकी कोणते तरी एकच काम करेल हे प्रस्तुत संयुक्त विधानातून उघड होते. (त्याने दोन्ही कामे पार पाडणे स्वभावतःच अशक्य असल्याने,) त्याने कोणतेही एक काम केले तरी संयुक्त विधान खरे ठरते. पण, तो दोन्ही कामे करेल, म्हणजेच दोन्ही घटकविधाने प्रत्येकी " १ ", " १ " या सत्यमूल्यांची असतील, असे गृहीत धरले, तर संयुक्त विधान खोटे ठरते, नि त्याचे मूल्य " ० " होते. एवढेच नव्हे, तर वरीलपैकी कोणतेही काम न करता, समजा रामू कुठे भटकायला गेला, म्हणजेच दोन्ही घटक-विधानांची सत्यमूल्ये " ० ", " ० " झाली, तरीही संयुक्त विधान खोटे ठरते, आणि त्याचे मूल्य " ० " ठरते. थोडक्यात, घटकविधानांची मूल्ये, एकाचे तेच दुसऱ्याचे अशी समान असल्यास, संयुक्त विधानाचे सत्य मूल्य " ० " निघते. ती असमान असली तरच संयुक्त विधान सत्य असते, त्याचे मूल्य " १ " निघते. अशा परिस्थितीत ∧ हे चिन्ह विधानबंध-दर्शक चिन्ह म्हणून वापरतात. येथे पहिल्या घटक विधानाऐवजी (तयारी-तील) त व दुसऱ्या ऐवजी (बरोबर शब्दातील) **ब** ही अक्षरे धरल्यास संयुक्त विधान व त्याचा स्थितिपट पुढीलप्रमाणे मांडता येतो :

विधान— त ∧ ब

स्थितिपट—

त	ब	त ∧ ब
०	०	०
०	१	१
१	०	१
१	१	०

मागे आपण अभ्यासलेल्या Exclusive OR सरणीच्या कार्यासारखाच या तऱ्हेच्या विधानाचा आशय असतो. या विशेष संबंधाला ' सम्मेलनरहित विकल्प ' हे नाव

यथार्थ ठरते. (८ व्या प्रकरणातील विवेचनात 'समवर्जी OR' असे थोडे वेगळे नाव योजले आहे.)

संकेतार्थी अथवा सूचितार्थी विधाने

'जर','तर' हे विधानबंध योजून केलेल्या संकेतार्थी विधानांचा लिहिण्या-बोलण्यात फार मोठा भाग असतो. संकेतार्थी क्रियेला इंग्रजीत तर्कशास्त्रीय परिभाषेत Implicative Function म्हणतात. या विधानसंबंधाचा अभ्यास येथे प्रथमच होणार आहे. यांना तर्कसंगत गणिती सूत्रात कसे बसवता येते ते आता पाहू. सुरुवातीस घेतलेल्या उदाहरणांपैकी क्र. १० चे उदाहरण या प्रकारात येते.

सूचित (Implied) विधानातील आशयाचे स्वरूप व व्याप्ती समजून घेणे हे आधी आवश्यक आहे. आपल्या उदाहरणात 'जर पाऊस पुरेसा पडला तर धान्याचे भाव उतरतील' असे सूचित केलेले आहे. पण, 'पाऊस पुरेसा पडला नाही तर धान्याचे भाव उतरणार नाहीतच' असा अर्थ यातून काढायचे कारण नाही. धान्याचे भाव इतरही एखाद्या गोष्टीमुळे, (उदा. बाहेरून धान्य-आयात झाल्याने), उतरू शकतील, ही परिस्थिती येथे विचारबाह्य धरलेली नाही. म्हणजे, अवर्षण घडूनही धान्याचे भाव उतरणे शक्य आहे, व तसे घडले तरी आपल्या सूचित विधानाला बाध येत नाही, त्याचे सत्यत्व अबाधित राहते, हा महत्त्वाचा खुलासा येथे ध्यानी घ्यावा. पाऊस पुरेसा पडूनही धान्याचे भाव उतरले नाहीत तर मात्र आपले विधान खोटे ठरते. या तऱ्हेच्या विधानाच्या आशयाची व्याप्ती ठीक लक्षात ठेवण्याकरता अंकगणितातले पुढीलसारखे उदाहरण उपयुक्त ठरते : $३^२ = ९$ हे सत्य आहे. ९ हा ३ चा वर्ग आहे. पण तो आणखी कशाचा वर्ग नाहीच असे नाही. तो –३ चाही वर्ग आहे. सूत्ररूपाने : $(-३)^२ = ९$. थोडक्यात, पहिल्या समीकरणाने हे दुसरे सत्य नाकारलेले नाही.

आता, 'पाऊस पुरेसा पडणे' याकरता (वर्षा शब्दातील) व आणि 'धान्याचे भाव उतरतील' याकरता (सुबत्ता शब्दातील) सु ही अक्षरे धरून व 'जर....तर' युक्त विधानांतील संबंध दर्शविण्याकरता योजतात ते ⊃ चिन्ह योजून वरील विधानाचा स्थितिपट मांडू :

व	सु	व ⊃ सु
०	०	१
०	१	१
१	०	०
१	१	१

स्थितिपट ठीक मांडता आला. पण त्यांतील, विधानांचे सत्यमूल्य दर्शविणाऱ्या अंकांवर गणिती कृती कशी करायची ? ⊃ हे चिन्ह गणितातले कुठले चिन्ह समजायचे ?

आपण येथवर अभ्यासलेल्यापैकी ~, ·, व V ही चिन्हे अनुक्रमे नकरण, गुणाकार व बेरीज या कृती दर्शवितात; त्यांपैकी काही चिन्हे वापरून प्रस्तुत चिन्हाचा आशय व्यक्त होऊ शकेल का ? असे प्रश्न येथे उभे राहतात. या प्रश्नांची तड तर्कगणितज्ञांनी मोठ्या चातुर्याने पुढीलप्रमाणे लावली. कृती अशी करावयाची – संयुक्त सूचित विधानाच्या पूर्वार्धातील (antecedent) विधानाचे नकरण करून घ्यावयाचे व मग त्याच्याशी उत्तरार्धातील (consequent) विधानाचा विकल्प मांडायचा, म्हणजे काम झाले. या कृतीने सूचित विधानाचे भाषांतर पुढीलप्रमाणे होते.

" यंदा पाऊस पुरेसा पडणार नाही, किंवा धान्याचे भाव उतरतील. "

(किंवा कदाचित दोन्ही घटना घडतील). कंसातील शब्द अर्थातच अध्याहृत आहेत.

ब = पुरेसा पाऊस, म्हणून ~ब = पुरेशा पावसाचा अभाव आणि सु = सुबत्ता, धान्याची स्वस्ताई, अशी वर योजलेलीच सूत्राक्षरे व 'किंवा' दर्शक V हे चिन्ह वापरून या विधानाचा स्थितिपट पुढीलप्रमाणे मांडता येतो :

ब	~ब	सु	~ब V सु
०	१	०	१
०	१	१	१
१	०	०	०
१	०	१	१

सूचित विधानाच्या आशयाची व्याप्ती वर मुद्दाम स्पष्ट केली असल्याने, या स्थितिपटाच्या दुसऱ्या ओळीचा अर्थ लावताना एरवी जे खटकल्यासारखे होते ते होऊ नये. या स्थितिपटातील शेवटच्या स्तंभातील निष्कर्षदर्शक अंकाचा क्रम, वर ⊃ चिन्ह वापरून मांडलेल्या स्थितिपटाच्या शेवटच्या स्तंभातील क्रमाप्रमाणे सहीसही १
१
०
१
असा आहे. ह्या स्थितिपटाचेच काम हा करतो. अर्थातच दोन्ही संयुक्त विधाने समानार्थी ठरतात.

हे तर्कसंगत भाषांतर करताना आपण ~ व V ही चिन्हे वापरली. आणखीही एका अभिनव पद्धतीने हे भाषांतर करता येते. खालील विधान पहा—

" असे घडणार नाही, की पाऊस पुरेसा झाला आहे आणि धान्याचे भाव उतरले नाहीत. "

हे विधान आपल्या मूळ 'जर....तर' युक्त विधानाचाच भाव व्यक्त करते. त्यातील महत्त्वाचे ठळक शब्द ध्यानी घेऊन ते सूत्ररूपाने असे मांडता येते :

$\sim$(ब · $\sim$सु)

आणि त्याचा स्थितिपट पुढीलप्रमाणे होतो :

ब	सु	$\sim$सु	$\sim$(ब · $\sim$सु)	गणिती कृतीचा खुलासा
०	०	१	१	$\sim$(०·१) = $\sim$ ० = १
०	१	०	१	$\sim$(०·०) = $\sim$ ० = १
१	०	१	०	$\sim$(१·१) = $\sim$ १ = ०
१	१	०	१	$\sim$(१·०) = $\sim$ ० = १

येथे उजवीकडे स्थितिपटाच्या चवथ्या स्तंभातील प्रत्येक ओळीतील पद सोडवून दाखविले आहे. अंकगणित / बीजगणित नुकते शिकू लागलेल्या विद्यार्थ्यालाही ते सोपे वाटेल. चवथ्या स्तंभातील निष्कर्ष-दर्शक अंकांचा क्रम पुनः मूळ सूचितार्थ विधानातल्य ,

१
अंकाचाच १
०
१ हा आला, व दोन्ही विधानातील भावार्थ एकच असल्याचा ताळा मिळाला.

येथे एक गोष्ट लक्षात घेणे आवश्यक आहे. मूळ ब आणि सु, या पूर्वांधातील पदांची मूल्ये आपण तत्संबंधीच्या सर्व स्थितिपटातील संबंधित दोन स्तंभांत व चारी ओळींत एकाच विशिष्ट क्रमाने मांडली आहेत. व म्हणूनच, ' शेवटच्या स्तंभातील अंकांचा क्रम सारखा असल्यामुळे संबंधित संयुक्त विधाने समानार्थी आहेत ' असे म्हणता येते.

वेगवेगळ्या विधानबंधांनी जोडलेल्या विधानांतील कथित गोष्टींची हानी न होऊ देता किंवा तिच्यात फेरफार न करता त्यांना वेगवेगळ्या तर्कसंगत सांकेतिक स्वरूपात मांडता येते हे नमुन्यापुरते वर दाखविले. विधाना-विधानांमधील संबंध आणखी अनेक प्रकारचे, गुंतागुंतीचे असू शकतात. पण त्यांच्या विश्लेषणाच्या खोलात शिरण्याची आपणास जरूरी नाही. फक्त प्रमुख व आपणास उपयुक्त असलेल्या तार्किक संबंधाचीच चर्चा येथे केली. ८ व्या प्रकरणात, ' आणि ', ' किंवा ' या आशयांच्या विधानांमध्ये विनिमय होऊ शकतो, हे **डी मॉर्गन्‌ची प्रमेये** सिद्ध करून दाखवताना सांगितले होते. येथे या विनिमयाचे उदाहरण पुनः मांडून आपले विवेचन संपवू.

डी मॉर्गन्‌चा सिद्धांत असा आहे :—' सामुदायिक नकरण असलेले संयुक्त पद सोडवताना समुदायातील (म्हणजे कंसातील) प्रत्येक पदाला नकरण लावावे, व शेजार-शेजारच्या पदांमधील असलेली चिन्हे बदलावीत. (म्हणजे संगठनदर्शक चिन्हाऐवजी विकल्पदर्शक चिन्ह व विकल्पदर्शक चिन्हाऐवजी संगठनदर्शक चिन्ह मांडावे.) या कृतीने मूळ संयुक्त पदाचे (संयुक्त विधानाचे) समानार्थी रूपांतर मिळते. '

आता ही कृती वरच्याच स्थितिपटांतील संयुक्त पदावर करू.

संयुक्त विधान असे आहे : $\sim$(ब · $\sim$सु).

उपरोक्त सिद्धान्ताअन्वये ते सोडविल्यास

$$\sim(ब \cdot \sim सु) = \quad \sim ब \vee \sim\sim सु \quad = \quad \sim ब \vee सु$$

असे समीकरण मिळते. यातील कडेच्या दोन पदांनी जी दोन विधाने व्यक्त होतात ती विधाने समानार्थी असल्याचे आपण आधीच स्वतंत्रपणे स्पष्ट केले आहे, व अप्रत्यक्षपणे डी मॉर्गन्‌चा नियम सिद्ध करून दाखविला आहे. $ब \supset सु$ या विधानाचीच ती रूपांतरे असल्याचेही दर्शविले आहे. थोडक्यात, पुढील समीकरण सिद्ध झाले:

$$ब \supset सु = \sim ब \vee सु = \sim(ब \cdot \sim सु)$$

येणेप्रमाणे, एखादे विधान विकल्पात्मक स्वरूपात, घटक विधानांतील कथित गोष्टींच्या सहअस्तित्वाच्या स्वरूपात, किंवा पूर्वपक्षी घटक विधानातील कथित गोष्टीचा परिणाम सूचित करणाऱ्या स्वरूपात कसे व्यक्त करता येते हे आपण पाहिले. पुढे, ही स्वरूपे सूत्ररूपाने कशी मांडता येतात, सूत्ररूपाचा खरेपणा कसा तपासता येतो, व वेगवेगळ्या सूत्ररूप विधानांत परस्पर संबंध काय आहेत, त्यात समानार्थता आहे वा नाही, हे, त्यावर योग्य गणिती कृती करून काढता येते, हेही आपण शिकलो.

विधानांच्या तार्किक-गणिती विश्लेषणाचे शास्त्र विशाल आहे. प्रस्तुत ग्रंथाच्या विषयाशी त्याचा तसा प्रत्यक्ष संबंध नाही; दूरान्वयाने थोडा लागतो. याकरिता येथे या शास्त्राची अगदी स्थूल रूपरेषा सांगितली व उदाहरणांच्या साह्याने त्यात केवळ विषय-प्रवेश करून दाखविला. ही अल्प माहितीही वाचकांना मनोरंजक वाटेल व अधिक वाचनाला प्रवृत्त करणारी ठरेल अशी आशा आहे.

सूचि

पुस्तकाची सूचि दोन भागात दिली आहे. देशी भाषेत रूढ असलेले व रूढ व्हावेत असा हेतु असलेले या विषयातील जे शास्त्रीय व महत्त्वाचे शब्द पुस्तकात योजिले आहेत त्यांची सूचि पहिल्या भागात दिली आहे. या शब्दांच्या शेजारी किंवा पुढे कंसात त्यांचे समानार्थक मूळ इंग्रजी शब्द देऊन फारसा फायदा झाला नसता. कारण अनेक इंग्रजी तांत्रिक शब्दांना नुसते नवरचित प्रतिशब्द तयार करून योजणे सद्यस्थितीत शक्य नाही व इष्टही नाही. अशा शब्दांचा निश्चित आशय व्यक्त करण्याकरता एक-दोन वाक्यात त्यांच्या त्रोटक माहितीची एक टीप किंवा व्याख्याच देणे आवश्यक व श्रेयस्कर असते. अनेक इंग्रजी ग्रंथांतून नेहमीच्या सूचीस जोडून असा 'व्याख्याकोश' (Glossary) दिलेला असतो. त्यानुसार येथेही, पुस्तकात आलेल्या इंग्रजी तांत्रिक शब्दांना, शक्य तेथे अन्वर्थक देशी प्रतिशब्द व जरूर तेथे त्रोटक टीपा देऊन आणखी एक सूचि दिलेली आहे.

ही दुसरी सूची म्हणजे संगणक-विज्ञानातील महत्त्वाच्या शब्दांचा एक उपयुक्त **परिभाषाकोश** ठरेल अशी अपेक्षा आहे. (या कोशातील माहितीनेही पुरेसा खुलासा न होणाऱ्या शब्दांच्या खुलाशाकरता पुस्तकातील निर्देशित पृष्ठांवरील मजकूर वाचणे आवश्यक ठरेल, हे उघड आहे.)

अनुक्रमणिकेतही त्या त्या प्रकरणात चर्चिलेल्या महत्त्वाच्या विषयांचा उल्लेख असल्याने इच्छित माहिती त्वरेने सापडण्यास मदत होईल.

सूचि–१

सूचि – २

संगणक-विज्ञानातील महत्त्वाच्या शब्दांचा परिभाषाकोश/व्याख्याकोश

Accuracy – उत्तरातील अचूकपणा, ६, २५
Adder circuits – संकलक सरण्या, बेरीज करणाऱ्या वीजसरण्या ९८, ९९
Address – विशिष्ट माहिती संग्रहित झाली असलेले स्मृतिसंग्रहातील स्थान, पत्ता, १३७
Address Selection – नेमक्या निर्देशित पत्याचा शोध, १६६
ALGOL – गणिती समस्यांच्या प्राज्ञापनात वापरली जाणारी एक सांकेतिक लेखनरीती, १८४
Alphameric – अक्षरात्मक, १८९
Amplification – विवर्धन, ५२, १४७
Analogue Computer – समकृती संगणक २
AND – विशिष्ट तार्किक आशय व त्यानुसार काम करणारी वीजसरणी ७१, ८५
Anode – धनाग्र, ५१, ६०
Antecedent – संकेतार्थी विधानातील पूर्वार्ध, २०४
Arithmetic Unit – अंकगणित विभाग, आकडेमोडीचा विभाग, १०, १२८
Astable Multivibrator – अस्थिर कंपक सरणी, चिरकंपक सरणी, १२४
Autocodes – सूचनांतर्गत सूचनांच्या सांकेतिक जुळण्या, ही कार्ये पार पाडणाऱ्या सरण्या, १८३

Bad conductor – दुर्वाहक, ५६
Base – बेस, ट्रॅन्झिस्टरमधील मध्यस्तर, ६१
BCD (Binary Coded Decimal) – द्विमानांकित दशमान संख्या, ३७
Binary Arithmetic – द्विमान अंकगणित, १८, २३ (प्रकरण ४), ३६ (प्रकरण ५)
Binary Counter – द्विमान-गणक-सरणी, ११२
Binary Digit – द्विमान अंक, द्विमानांक, २२
Binary point – द्विअंश चिन्ह, २०
Binary system – द्विमान पद्धति, १८
Bistable Multivibrator – द्विस्थिति कंपक-सरणी, १०८
Bistable substance – दोनच स्थिर स्थिति असलेला व त्यांमध्ये स्थित्यंतर करू शकणारा पदार्थ, साधन, १३१

Covalent – सहभागी, सामायिक, ५७
Crystal Lattice – स्फटिकाची अंतर्रचना, ५७
Current electricity – वीजवहाळीचे शास्त्र, ९

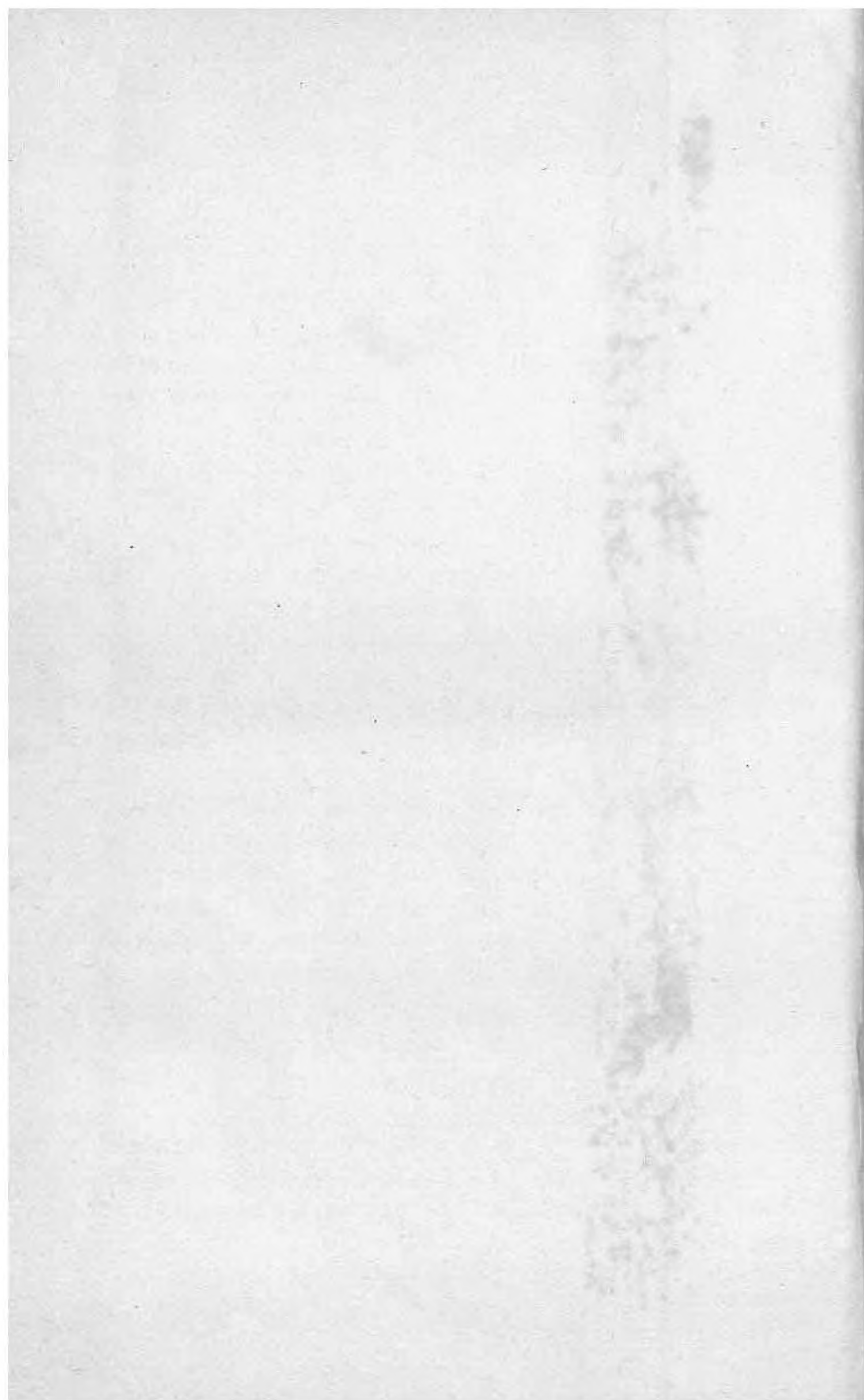
Data – संख्यात्मक माहिती, ७, १८०
Data Transfer – संख्यात्मक माहितीची इष्ट हलवाहलव, १७८
Decastable – दशस्थिति, १११
Decade Counter – दशांक गणना सरणी, ११७
Decimal digit – दशमान अंक, दशांक, २२
Decimal point – दशांश चिन्ह, १९
Decimal system – दशमान पद्धती, १५
Decoding – संबंधित द्विमानांकमालिकेचा प्रस्थापित सूत्रांनुसार अन्वयार्थ लावणे, १६५
Dekatron – डेकाट्रॉन, १७
Delay tube – विलंबकारी नलिका, १४७
De Morgan's Theorems – डी मॉर्गन्‌ची प्रमेये ८२, ९१, ९२, २०१
Differentiation – विकलन, ३
Diffusion of atoms – अणु-विखरण, १७२
Digital Computer – अंकीय संगणक, ६
Diode – डायोड, याला केलेला वीजपुरवठा प्रवाहानुकूल किंवा प्रवाहप्रतिकूल असेल त्यानुसार यातून वीज वाहते किंवा नाही; अर्धवाहक द्रव्यांचा, ५९, व्हॅक्युअम् ट्यूब, ५०
Disjunctive Function – विकल्प-दर्शक आशय, २०१
Domain – डोमेन, कर्षुकशील पदार्थातील एकदिक् कर्षुकक्षेत्र असणाऱ्या कोट्यवधी अणुरेणूंचा समूह. अशा समूहाशेजारच्या समूहांच्या कर्षुक क्षेत्राची दिशा उलट असते. एकमेकांशेजारच्या परस्परविरुद्ध क्षेत्रांमुळे अशा पदार्थाला परिणामी कर्षुकता उरत नाही. १७५
Double-throw switch – दुजुटी स्विच्, ४९, ७८

Electrical circuit – वीजसरणी, वीजप्रवाहमंडल, ४, १०
,, current – वीजप्रवाह, १
,, pulse – वीजस्पंद, ५
,, signal – वैजिक संदेश, ७
,, voltage – वीजवर्चस्, १
Electro magnet – वीजकर्षुक, ४९, १३१

संदर्भ साहित्य

खाली दिलेले ग्रंथ, लेख इ. पुस्तकलेखनाकरता प्रामुख्याने उपयोगी पडले. काही विशेष बाबतीत तज्ज्ञ मंडळीशी चर्चाही केली.

1. Electronic Computers MADE SIMPLE – by Henry Jacobowitz; W. H. Allen, London.
2. A Simple Approach to Electronic Computers – E. H. W. Hersee; 2nd edition, The English Language Book Society and Blackie & Son, Ltd.
3. A short Introduction to Computers – Anthony Chandor, Arthur Barkar Ltd. London.
4. Teach yonrself ELECTRONIC COMPUTERS – F. L. Westwater; The English Universities Press Ltd, London.
5. Scientific American, September 1966 issue.
6. Digital Techniques – R. W. Sudweeks, Pitman 1968.
7. Digital Principles and Applications – Albert P. Malvino and Donald P. Leech; Tata McGraw Hill Publishing Co. Bombay, New Delhi.
8. Integrated Circuits – R. G. Hibbard; Texas Instr, Ltd., McGraw Hill Book Co.
9. Magnetic Bubbles – R. Vijayaraghavan and L. C. Gupta, article in Science Today, Mar. 1973.
10. Solid-state Opto-electronic Components put Imagination in Engineering. – Jim McDermott; Electronic Design 11, May 27, 1971.
11. Introduction to Symbolic Logic – Basson and O'connor, University Tutorial Press, Ltd., London.



simpler and perhaps more appro priate terms in Marathi.

...On the whole, the book provides a good introduction to digital computer and will be found very useful for the students. *I strongly recommend this book for Schools and Colleges.*

– Dr. M. V. Pitke

Research Scientist, Computer Group, Tata Institute of Fundamental Research, Bombay – 5.

....संगणकासारख्या कठीण विषयावर मायभाषेत ग्रंथरचना करणे एवढी एकच गोष्टही लेखकाच्या गौरवास पुरेशी आहे. संगणकाच्या कार्याची उकल विस्ताराने करताना अनेक शास्त्रीय तत्वे व गुंतागुंतीची प्रमेये शक्य तो सोप्या भाषेत सांगण्याचा लेखकाचा प्रयत्न आहे. अर्थात मूळ विषयच दुर्बोध आहे याला त्यांचा इलाज नाही. संगणकविषयक सर्व मूलभूत विचारांची दालनें मराठी वाचकाला खुली करून देण्याचे श्रेय या पहिल्या संगणक-विषयक पुस्तकाला आहे. हा विषयच इतका क्लिष्ट व बहुरंगी आहे की, २०० पानांच्या छोटेखानी पुस्तकात त्याच्या विविध बाजूंची उकल करण्याचे काम सोपे नाही. आणि म्हणूनच काजरेकरांच्या प्रयत्नांचे कौतुक करावयास हवे.

.... या कामी इतके परिश्रम घेतल्याबद्दल श्री. काजरेकर यांचे व त्यांना प्रोत्साहन दिल्याबद्दल महाराष्ट्र राज्य साहित्य-संस्कृति मंडळाचे मनःपूर्वक अभिनंदन !

श्री. मुकुंद सदाशिव गोखले

केन्द्रीय नियोजन मंत्रालयाच्या कॉम्प्युटर सेंटरचे संचालक, नवी दिल्ली.

" संगणक विजेच्या साहयाने गणिती समस्या सोडवितो ही गोष्ट आपणांस माहीत आहे, पण आपणांस या गोष्टीतील तपशील किती ठाऊक आहे हा महत्वाचा प्रश्न आहे.

विजेने उष्णता व प्रकाश कसा मिळतो व स्वयंपाकघरातल्या मिक्सरपासून ते आगगाडीच्या इंजिनापर्यंतची यंत्रे कशी चालतात, तसेच तार, टेलिफोन, रेडिओ, टी. व्ही. यांच्या द्वारे वीज ध्वनी व दृश्य यांचा लाभ दूरवर कसा करून देते, याची अपूर्ण असली तरी बरीच रास्त कल्पना सुशिक्षित मराठी वाचकांना झाली आहे.

पण विजेने गणित कसे सुटते ? या चमत्काराचा खुलासा जिज्ञासू मराठी वाचकांकरता सांगितला गेल्याचे आढळत नाही. गणित सोडविण्याचे काम तर बुद्धिचे, मेंदूच्या क्षमतेचे ! मग राशींच्या मूल्यांचे, संख्यांचे यथार्थ आकलन, योग्य गणिती कृतीचा निर्णय व त्याची कार्यवाही, व याकरता पुरविलेल्या माहितीची नोंद, साठवण करणारी स्मरणशक्ती इ. मानवी मेंदूच्या क्षमता, वर उल्लेखलेल्या सांगकाम्या विजेच्या अंगी असल्याचे समजायचे का काय ? छे ! येथे संगणकातही वीज काम करते ते सांगकाम्याचेच. चतुरपणा आहे, तो तिच्याकडून काम करून घेणाऱ्या मानवाचा ! त्याने संगणकामध्ये बसविलेल्या असंख्य नवसंशोधित घटकांचा व त्यांच्या नियमबद्ध कार्यपद्धतींचा !

संगणकाच्या अंतर्रचनेची व कार्यपद्धतीची प्रायः सर्वंकष व सोपपत्तिक माहिती या पुस्तकाच्या वाचकांस मिळेल

—लेखक